Biblioteca Digital
FCEN-UBA

BIBLIOTECA CENTRAL LUIS F LELOIR
BIBLIOTECA CENTRAL LELOIR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UBA

Tesis de Posgrado

Cemento de escorias (ensayos con escoria de arrabio) : estudio del efecto del contenido en escoria yeso y finura del cemento, sobre fraguado, resistencias a la tracción y compresión y expansión

Rasmussen, Jorge

1951

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:
Rasmussen, Jorge. (1951). Cemento de escorias (ensayos con escoria de arrabio) : estudio del efecto del contenido en escoria yeso y finura del cemento, sobre fraguado, resistencias a la tracción y compresión y expansión. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0663_Rasmussen.pdf

Cita tipo Chicago:
Rasmussen, Jorge. "Cemento de escorias (ensayos con escoria de arrabio) : estudio del efecto del contenido en escoria yeso y finura del cemento, sobre fraguado, resistencias a la tracción y compresión y expansión". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1951.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0663_Rasmussen.pdf

EXACTAS UBA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

UBA
Universidad de Buenos Aires

Dirección: Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA - Tel. (++54 +11) 4789-9293

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

C E M E N T O
D E
E S C O R I A S .

(Ensayos con escoria de ARRABIO.)

Estudio del efecto del contenido en escoria yeso y finura del cemento ;sobre fraguado, resistencias a la tracción y compresión y expansión.

Trabajo realizado por el egresado Jorge Rasmussen para optar al título de Doctor en Química.

Tesis: 663

Padrino de tesis: Doctor Carlos Gini Lacorte.

1950

FCEFN-BA.

Quiero expresar mi agradecimiento a las personas que con sus sugestiones y observaciones hicieron posible la realizacion del presente trabajo; en primer término a mi profesor y padrino de tesis Dr. Carlos Gini Lacorte de quien recibiera mis primeras enseñanzas en industria cementera y que con sus observaciones me guió en el presente trabajo a una conclusión definida y al Sr. Einar Belling, Jefe Químico General de la Compañía Argentina de Cemento Portland quien me sugirió y planeó el presente tema.

FCEFyN-UBA

Se estudia en este trabajo las variaciones de las propiedades físico mecánicas de los cementos obtenidos por molienda de clinker de cemento portland con distintas proporciones de escoria y yeso y a distintas finuras; y además la eficiencia de molienda de los cementos de escoria comparados con cemento Portland.

Los ensayos de molienda se llevaron a cabo en un molino a bolas de laboratorio modelo Abbé All Steell Nº 2; determinándose con los tamices de la serie Tyler los residuos de los productos antes y después de la molienda: se llega a la conclusión que la eficiencia de molienda a una misma superficie específica disminuye a medida que aumenta el contenido de escoria en el cemento; siendo las eficiencias 74,3 65,0 y 51,7 % respectivamente para los cementos con 30 40 y 60 % de escorias si se considera 100% la eficiencia de molienda del cemento portland obtenido con el mismo clinker.

Las resistencias a la tracción en cementos molidos a una misma superficie específica (entre 1800 y 1900 $cm^2/gr.$) disminuyen a medida que aumenta el contenido de escoria ; siendo nulas a las veinticuatro horas en los cementos con 40 y 60 % de escoria en estos cementos la molienda a una superficie específica de 2650 cm^2/g aumenta dichas resistencias así como aquellas a los dos tres y siete días.

En las resistencias a la compresión se llegó a las mismas conclusiones en lo que se refiere a la disminución de resistencias con respecto a la proporción de escoria; y para una misma proporción de escoria la mayor molienda aumenta las resistencias desde las veinticuatro horas hasta los veintiocho días; superando en cementos con 30 % de escoria la resistencia a la compresión del cemento Portland sin escoria molido a una superficie específica de 1700 cm^2/g.

El fraguado aumenta con el aumento de la proporción de escoria aun cuando la relación yeso/clinker x 100 se mantenga constante; y para una misma proporción de escoria pero distinta finura el fraguado del cemento es menor a mayor finura; y a una misma proporción de escoria y finura el fraguado del cemento es mayor cuando mayor sea la relación yeso/clinker x 100.

En los ensayos de expansión se verifica que a medida que aumenta la proporción de escoria en los cementos molidos a superficie específica entre 1800 y 1900 $cm^2/gr.$ la expansion disminuye

FCEN-BA

[illegible] mediante [illegible] proporción de [illegible]

[illegible] estudia [illegible] actividad de la escoria agregada de molienda al clinker comparando con cementos de superficies específicas de 2290 y 2620 cm^2/gr y obtenidos por molienda de clinker [illegible] 30% de arena (material inerte), llegándose a la conclusión que [illegible] cementos con escoria tienen mayores resistencias [illegible] 3 días [illegible] hecho que revela que la actividad efectiva de la escoria recién se manifiesta después de los siete días.

[illegible] cementos [illegible] 30 % de escorias se estudia la influencia del contenido de SO_3 a una misma superficie específica (2300 cm^2/gr) [illegible] una proporción de menos de [illegible] de SO_3 produce un cemento de fraguado [illegible] menores resistencias a la tracción por [illegible] a la compresión. Con proporción de 1,0 a 1,15 % el fraguado es de cemento Portland normal.

Un cemento obtenido por molienda de clinker de cemento Portland con 30% de escoria y una relación yeso / clinker x100 =2 [illegible] satisface todas las especificaciones vigentes en la actualidad.

O

INTRODUCCION

La escoria es un subproducto de la industria siderúrgica formado por la combinación de los constituyentes ácidos de la ganga del mineral de hierro con lacal.

Su composición química está constituída por los mismos óxidos que entran en la composición química del cemento Portland a saber: sílice (SiO_2.); alúmina (Al_2O_3.);óxido férrico (Fe_2O_3.): Óxido de Calcio (CaO.); y óxido de magnesio (MgO.).

La escoria se utiliza de diversas maneras para la fabricaciôm de cemento.

Escoria como materia prima:Se muele la escoria con una proporción determinada de CO_3Ca para obtener una mezcla cruda de composición definida para la elaboración del clinker de cemento Portland.

Cementos de escoria y cal: Estos están constituidos por una mezcla íntima de escoria y cal hidratada;tales son los cementos alemanes y belgas de escorias.(Schlackenzement y Ciment de Laitier.)

Cemento de escorias: La escoria granulada se muele juntamente con clinker de cemento Portland a una finura determinada tal que su residuo sea menor de 15 % sobre un tamiz de 325 mallas pOr pulgada como lo fijan las normas norteamericanas.

Como ejemplo de este tipo de cemento puede citarse los cementos de escoria británicos,los cementos alemanes Eisenportlandzementy Hochofenzement y los franceses Ciment Portland metallurgiques.

Escoria como agregado al hormigón: Suele agregarse también al hormigón en lugar de canto rodado.

En Glascow (Inglaterra) la escoria esempleada como materia prima para la obtención del clinker de cemento Portland y este clinker junto con yeso (menos de 1%.) y una proporción fija de escoria se muele hasta la finura deseada.

En Alemania los cementos de escorias tipo Hochofen contienen hasta 85 % de escorias y el tipo Eisenpotlandzement tiene desde 25 hasta 65 % de escorias.

En un principio se consideró en Alemania el agregado de escorias al cemento como una adulteración a pesar de la prédica favorable de Michaelis ; pero recién en 1901 cuando se constituyó la asociación de fabricantes de cementos de escorias éste se fabricó en mayores proporciones.

Como ejemplo de esto son las cifras estadísticas de producción del año 1930 que señalan 550 000 toneladas de Eisenportlandzement y 480 000 toneladas de Hochofenportlandzement vale decir 1 030 000 toneladas en total de cementos de escorias cifra que se aproxima a la producción anual actual de cemento Portland en la República Argentina.-

MATERIAS PRIMAS

Clinker:

El clinker utilizado en este trabajo fué tomado directamente de la descarga del enfriador en la fábrica de cemento Portland que la Compañía Argentina de Cemento Portland posee en la ciudad de Paraná (provincia de Entre Ríos).

Se procedió a la trituración en una rompedora a mandíbulas de laboratorio modelo Nº K.D. Brown Chipmunck accionado por medio de un motor de 4,1 H.P; posteriormente en un molino a discos "Brown Pulverizer" modelo Nº U.A. con motor de 3 H.P. fijando una distancia de 0,12 mm entre los discos de que el producto pasara a través de un tamiz Nº 14 de la serie Tyler Standard cuya abertura entre mallas es de 1,168 mm.

Se tomaron dos muestra cuyos análisis son:

	Muestra Nº 1	Muestra Nº 2	Promedio
P.F.	0,66 %	0,50 %	0,58 %
SiO_2	24,06 "	24,38 "	24,22 "
Al_2O_3	5,12 "	5,16 "	5,14 "
CaO	66,55 "	66,81 "	66,73 "
MgO	1,03 "	1,03 "	1,03 "
	99,62 %	99,98 %	99,80 %

CaO libre 0,45 %
Factor 2,38
Razón 3,36
A/F 2,44

Nota:

P.F.=Pérdida por calcinación

$$\text{Factor} = \frac{\%\,CaO - (\%Al_2O_3 \times 1{,}65 + \%Fe_2O_3/2 \times 0{,}7)}{\%\,SiO_2}$$

$$\text{Razón} = \frac{\%\,SiO_2}{\%\,Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

$$A/F = \frac{\%Al_2O_3}{\%\,Fe_2O_3}$$

Componentes químicos

SiO_2 3 CaO	4794 %
SiO_2 2 CaO	33,35 "
Al_2O_3 3 CaO	10,07 "
Al_2O_3 Fe_2O_3 4 CaO	6,38 "
CaO libre	0,45 "
MgO libre	1,03 "

Escoria

La escoria utilizada en estos ensayos provino de los altos hornos que en Zapla (Provincia de Jujuy) posee la Sociedad Anónima Mixta Arrabio.

Debido asu dureza se la molió previamente en un molino a bolas de laboratorio modelo Nº 9 Abbé All Steell equipado con um motor de 2 H.P. de potencia; hasta obtener un producto con la siguiente granulometria:

Residuo sobre	tamiz	Nº	14	0,4	%
"	"	"	" 28	0,7	"
"	"	"	" 48	1,2	"
"	"	"	" 100	2,7	"
"	"	"	" 200	11,3	"

Análisis químico

P.F.	0,13	%
SiO_2	40,80	"
Al_2O_3	17,51	"
Fe_2O_3	2,55	"
CaO	33,69	"
MgO	2,96	"
Total	97,64	%

Cal libre: 0,07 %.

Razón $= \frac{\%\ CaO + 2/3\ \%\ Al_2O_3 + MgO\ \%}{2/3\ \%Al_2O_3 + \%SiO_2} = 0,85$

Yeso

Seutilizó yeso de la provincia de Entre Rios proveniente de Sauce pueblo ubicado a 22 Km al Norte de la ciudad de Paraná.

El contenido en SO_3 fué 35,85 % lo que equivale a un contenido de 77,06 % de $SO_4Ca.\ 2\ H_2O$.

Arena Normal (para Ensayos físicos).

Arena oriental previamente lavada y tamizada entre tamices de 1mm y 0,1 mm de abertura de acuerdo alas especificaciones del

Especificaciones para cementos de escorias.

Norma norteamericana:

A.S.T.M. Designación: C 205- 48T.
Realizada 1946; Revisada 1947, 1948.

Definición:

Cemento de escorias: El cemento de escorias será una mescla íntima obtenido por la molienda conjunta de clinker de cemento Portland y escoria granulada. No contendrá menos de 25% ni mas de 65% de escoria.

Nota: La composición química del clinker de cemento Portland cumplirá con las especificaciones del cemento Portland tipo 1 (A.S.T.M. Designación C.150.)

Vale decir:

MgO	5%	como máximo.
P.F.	3%	" "

Escoria granulada: La escoria granulada es un producto no metálico constituído esencialmente de silicatos y alumino silicatos de calcio formado simultaneamente con el hierro en el alto horno y producido por el enfriamiento rápido del material fundido en agua, vapor o aire.

Adiciones: agua y ,o sulfato de calcio o ambos pueden agregar se siempre que los límites de las especificaciones químicas no sean excedidas.

Especificaciones químicas:

El cemen to de escorias deberá ajustar se a las siguientes especificaciones químicas:

Oxido de magnesio(MgO)	5.0%	como máximo
Anhidrido sulfúrico(SO_3)	2,5%	" "
Oxido mangánico(Mn_2O_3)	1,5%	" "
Azufre de sulfuro(S)	2,0%	" "
Residuo insoluble	1,0%	" "
Pérdida al fuego	3,0%	" "

Los constituyentes de la escoria deberán satisfacer a la siguien te relación:

$$\frac{\%CaO + \%MgO + 1/3\ \%Al_2O_3}{\%SiO_2 + 2/3\ \%Al_2O_3} \geq 1$$

Nota: Una escoria granulada con la siguiente composición química cumple con las condiciones de la fórmula precedente.

Oxido de calcio (CaO)	40 a 50 %
Sílice (SiO_2)	30 a 40 %
Oxido de aluminio(Al_2O3)	8 a 18 %
Oxido ferroso Fe_2O_3)	0 a 1 %
Oxido de Magnesio(MgO)	0 a 8 %
Oxido mangánico(Mn_2O3)	0 a 2 %
Azufre sulfuroso(S)	0 a 2 %

Especificaciones físicas:

Finura:

Retenido en tamiz Nº 325 (44 micrones) 15 % máx.

Sutileza:

Expansión o centracción en autoclave 0,20 % "

Fraguado:

(Aguja de Vicat)

Principio	no menos de	45 minutos
Fin	no más de	10 horas

Resistencia a la compresión:

Ensayada sobre cubos de mortero (1:2,75 Cemento arena)

1 día en aire húmedo,	2 días enagua	63 Kg/cm^2
1 " " " "	6 " "	126 "
1 " " " "	27 " "	210 "

Resistencia ala tracción:

Ensayada sobre briquetes de mortero (1:3 Cemento arena)

1 día en aire húmedo	2 días en agua	10,5 Kg/cm^2
1 " " " "	6 " " "	19,3 "
1 " " " "	27 " " "	24,6 "

ENSAYOS DE MOLIENDA

Después de algunos ensayos preliminares de molienda en que los residuos sobre el tamiz Nº 325 eran elevados para altas finuras; se fijó la carga del molino en la siguiente forma:

Cilpebs de 3\5 mm de diámetro	20 Kgr.
" " 16 " " "	35 "
Carga total del molino	55 "

Se pesron luego 6,000 Kgr de clinker y 0,250 Kgr de yeso ; es decir que la relación de carga de bolas del molino a la carga a moler enel mismo era de 8,9.

La granulometría del producto a moler fué la siguiente:

Tamiz Nº	Abertura (en mm.)	% retenido.
14	1,168	0,8
28	0,589	11,4
48	0,295	38,8
100	0,147	51,4
200	0,074	62,8
325	0,043	70,8

El molino estaba dotado de una velocidad de una vuelta por segundo.

Esta mezcla molida proporcionó un cemento Portland con las siguientes carácterísticas después de una molienda de una hora y 40 minutos.(6000 revoluciones del molino).

Residuo sobre tamiz Nº 200	0,8 %
Finura tamiz Nº 325	97,3 %
Superficie especifica	2340 $cm^2/gr.$
Fraguado: Principio	2 horas 30 min.
Fin	5 " 10 "

Dado que ésta era una finurumuy elevada para comenzar los ensayos se procedió a otra molienda con la misma cantidad de material perc se molió durante una hora y 12 minutos.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Residuo sobre tamiz Nº 200	0,8 %
Finura tamiz Nº 325	89,2 %
Superficie específica	2200 cm2/gr.

Fraguado:	Principio	3 horas 45 minutos
	Fin	5 " 20 "

Otro ensayo pero moliendo 45 minutos proporcionó un cemento de las siguientes características:

Residuo sobre tamiz Nº 200	2,3 %
Finura tamiz Nº 325	89,2 %
Superficie específica	1790 cm^2/gr.

Conclusión: Manteniendo la relación de carga de bolas a carga a moler en 8,8 y moliendo durante 45 minutos con el material utilizado se obtiene un cemento de una superficie específica de 1790 cm^2/gr ; durante 1 hora y 30 minutos se obtiene una superficie específica de 2340 cm^2/gr.

Con estos datos se procedió a la molienda de los ensayos para el presente trabajo.-

METODO DE ENSAYO

Para cada ensayo se pesaron las cantidades de clinker escoria y yeso indicadas en los cuadros correspondientes mezclándolos hasta homogeneización;tomándose luego una mezcla promedio para determinar la granulometría de la mezcla .

Esta ultima se determina pesando los residuos que quedan sobre los tamices de la serie Standard Tyler Nºs. 14 28 48 100 y 200 de una muestra de 50 gr.; en lo que ha pasado el tamiz Nº 200 se determina el residuo sobre tamiz Nº 325.

La mezcla se coloca en el molino a bolas;moliendo durante 45 90 o 120 minutos segun se quiera un cemento de superficie específica 1800 2300 o 2600 cm^2/gr. de acuerdo a las condiciones determinadas en los ensayos de molienda pags 6 y 7.

Terminada la molienda se procedió a la realización de los ensayos químicos y físicos mecánicos.-

ENSAYOS QUIMICOS :

Se utilizaron los métodos analíticos según los procedimientos rápidos de A.S.T.M. descritos en "Standaras on Cement- Comitte C-1 on Cement" October 1946.

ENSAYOS FISICOS:

Consistencia Normal: La determinación de la consistencia normal se realiza con la sonde de Tetmajer de acuerdo al método descripto en el "Pliego de condiciones para la recepoión de cemento Portland destinado a obras públicas "M.O.P. O.S.N. 1930. de la siguiente manera: se amasan 500gr de cemento con agua durante 5 minutos, se introduce la pasta en el molde tronco cónico y dejando caer lentamente la sonda de Tetmajer observándose la distancia del fondo a la cual se detiene. Se considera que la pasta es de consistencia normal cuando la sonda se detiene a 6 mm. del fondo

Consistencia normal es la cantidad de agua que necesitan 100 gr de cemento para producir una pasta de esas condiciones.

Fraguado:Se determina sobre galletas de cemento con agua en la proporción de la pasta de consistencia normal con las agujas de Gillmore de acuerdo a la noma Designación Nº C 191- 44 A.S.T.M. (Standards on cement)

El principio de fraguado se determina con la aguja de 2,12 mm de sección y cuyo peso es 113,4 gr;se considera que hay principio de fraguado cuando la marca dejada por dicha aguja sobre la galleta sea prácticamente imperceptible .

El fin de fraguado se determina con la aguja cuyo diámetro es 1.06 mm. y cuyo peso es 453.6 gr. cuando la marca deja

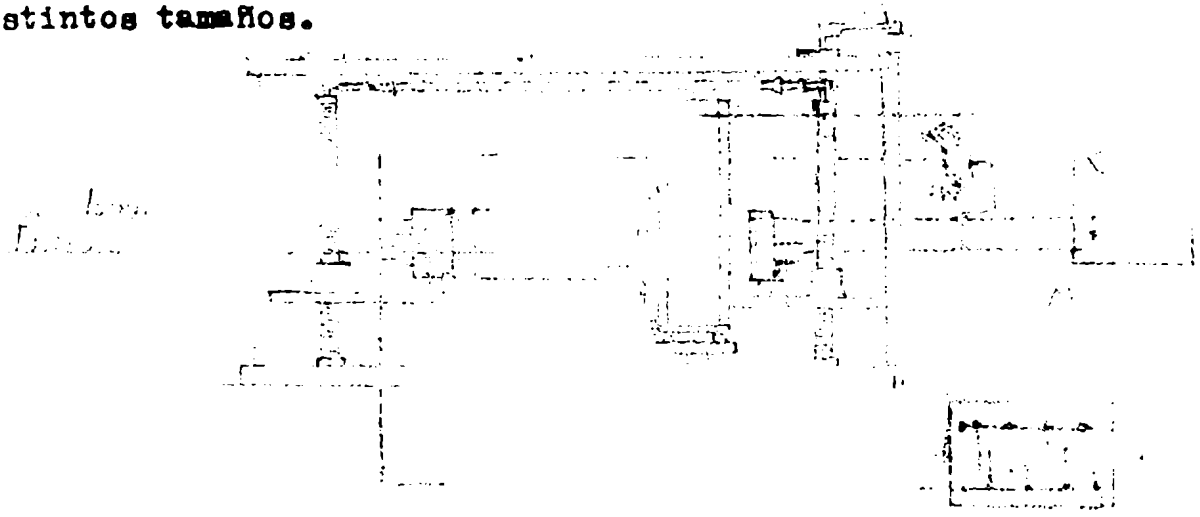
da por dicha aguja sobre la galleta es imperceptible se considera que hay fin de fraguado.

Expansión (Ensayo de autoclave): Con pasta de cemento y agua de consistencia normal se preperan varillas de 1 x 1 x 10 pulgadas con tornillos fijos en sus extremos. Estas varillas permanecen en sus moldes durante 24 horas en una cámara con 85 % de humedad relative; pasado éste período se retiran de sus moldes, se miden en comparador con aproximación de 0,001 de pulgada; se introducen luego en un autoclave para ser sometidas a la acción del vapor durante tres horas a la presión de 295 ± 10 libras /pulgada cuadrada (21 atmósferas).

Se retiran luego las varillas del autoclave enfriándolas en agua tibias se procede luego nuevamente a su medición y este aumento o contracción en su longitud x 10 da la expansion o contracción del cemento (Designación C 151 43 A.S.T.M.)

Finura: La finura expresada como superficie específica en cm^2/gr. se determina por medio del turbidímetro de Wagner según el método descripto en A.S.T.M. Standards on cement Designación C. 115 42.

En el turbidímetro de Wagner se estudia la variación de la intensidad de la corriente fotoeléctrica producida al interponerse en la trayectoria del rayo de luz una suspensión de cemento de cemento en querosen; la variacion de la intensidad de corriente fotoeléctrica se debe a la distinta velocidad de sedimentación de las partículas de distintos tamaños.



Dicha variación se mide con unmicroamperímetro y de las lecturas de dicho instrumento se calcula la distribución del tamaño de partículas y la superficie específica; ésta con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{38\ r\ (2 - \log I60)}{1{,}5 + 0{,}75\ \log I\ 7{,}5 + \log I\ 10 + \ldots\ldots\ldots + \log I\ 60}$$

S= Superficie específica

r=Porcentaje en peso que pasa el tamiz Nº 325 (40 mic.)

I 7,5 I 10 .....I 60 son las lecturas en el microamperímetro correspondientes a las partículas de diámetro 7,5 10.....60 micrones

Resistencias a la tracción y compresión (Mortero 1:3 cemento arena)

Se realizan estos ensayos de acuerdo a las normas establecidas en el"pliego de condiciones para la recepción de cemento Portland destinado a obras públicas" M.C.P. O.S.N.

Cantidad de agua a usar:

Está dada por la fórmula: A=P/6 + 4,5

A; agua para 100 gr de mortero y P=Consistencia normal

Se mezclan primero la arena y el cemento se agrega el agua calculada procediéndose a la mezcla mecánica en la mezcladora de Steinbruck.

Se llenan los moldes para los briquetes y cubos (ensayos de resistencia a la tracción y a la compresión) sometiéndolos luego a la acción de los martillos de Klebeen la siguiente forma:

Briquetes (tracción) 120 golpes 25 cm de caida y 2,0 Kg de peso c/martillo

Cubos (compresión) 150 " 50 " " " 3,4 " " "

Se dejan los moldes 24 hôras en una cámara húmeda 85 % de humedad; después de ese tiempo se retiran de los moldes procediéndose al ensayo de algunos de ellos en la balanza de Michaelis (Resistencia a la tracción) y en la prensa hidráulica (Resistencia a la compresión; el resto se guarda bajo agua cuya temperatura oscila entre 20 y 22 ºC. que se renueva c/semana; para los ensayos de resistencias a los 2,3,7 y 28 días.-

Resistencia a la compresión :

(Especificación brasileña) Mortero plástico.

Arena normal: Se utilizó arena oriental lavada y tamizada por los siguientes tamices de la serie Standard Tyler:

Arena	1	- Nº 8	+Nº 14
"	2	- Nº14	+Nº 28
"	3	- Nº28	+Nº 48
"	4	- Nº48	+Nº100

De cada una de estas arenas se pesan 234 gramos que mezcladas intimamente dan la arena normal para el ensayo de resistencia a la compresión.

Mortero de consistencia normal:

A 936 gr de arena se agregan 312 gr de cemento mezclándose hasta obtener homogeneización completa; se agrega de una sola vez el agua cubriéndola con mezcla y dejándola embeber durante un minuto; luego se amasa durante cinco minutos.

Se procede luego a determinar la consistencia del mortero en la mesa de asentamiento; constituido por una mesa matáli ca que tien un eje vertical dirigido por una guía conveniente y recibe de una excentrica un movimiento ascendentevertical de 14mm. dejándola caer de esa altura.

Se lubrica la mesa y el molde troncocónico de base inferior 125 mm y superior 90 mm y altura 65mm.

El llenado del molde se realiza en tres capas reci biendo la primera 15 golpes de pisón la segunda 10 golpes y la tercera 5 golpes.

Realizado el relleno del molde se retira éste se ha ce girar la manija de lamesa de asentamiento de modo que la misma reciba 30 sacudidas en 30 segundos. lo que provocará el asentamien to del tronco de cono del mortero.

Con la ayuda de un calibre se mide la base deformada del tronco de cono ; definiendo como mortero de consistencia normal aquel cuyo indice de asentamiento sea de 165 mm $\pm$ 5mm.

Probetas de ensayo:

Se moldea el mortero en moldes cilíndricos de 100 mm. de altura y 50 mm de diámetro, colocando el mortero nor mal en cuatro capas sucesivas recibiendo cada una de ellas 30 gol pes de pisón a efectos de distribuir la masa.

Después de transcurridas 6 a 15 horas desde el momento del moldeo se terminan los cilindros con -pasta de cemen to enrasando la cabeza de la probeta con una regla que se hace correr a lo largo del borde en dirección normal a su longitud con un ligero movimiento de vaiven.

Después de 20 a 24 horas del moldeo y manteni das en una cámra húmeda (85 % de humedad relativa) se retiran de los moldes pasándolas a una pileta de agua potable a 21 $\pm$ 2 °C.

Se ensayan lasresistencias a la compresión a las 24 horas 3 días 7 días y 28 días con una prensa hidráulica de modo que la carga de compresión a tranmitirse a la probeta sea de 2,5 Kg/cm^2 por segundo.

------- 0 -------

CEMENTOS DE ESCORIAS
(20 30 40 y 60 % .)

Determinadas las condiciones de molienda se procedió a moler clinker con yeso con las siguientes proporciones de escoria 20 30 40 y 60 % durante 45 minutos , vale decir 2700 revoluciones en total del molino.

Las caráceterísticas de los cementos resultantes se detallan a continuación:

Clinker	6,000	4,750	4,180	3,500	2,250
Yeso	0,250	0,250	0,172	0,250	0,250
Escoria	-----	1,250	1,898	2,500	3,750
Peso total	6,250	6,250	6,250	6,250	6,250
Relación $\frac{\text{yeso}}{\text{clinker}}$	4,17	5,27	4,13	7,15	11,1
% escoria	0	20	30	40	60
Residuo Nº200	2,8 %	1,8 %	1,6 %	2,2 %	1,7 %
Fraguado:					
Principio	4h 15m	4h 00m	5h 30m	5h 15m	5h 45m
Fin	6h o5m	5h 50m	7h 20m	7h 20m	6h 50m
Consist normal	27,5	27,5	27,5	27,5	26,5
Expansión	0,070	o,o24	0,003	Varilla rota	Varilla rota
Finura Nº 325	89 2	91,7	90,6	91,1	91,2
Superf. Espec.	1790	1805	1800	1845	1880

Distribución del tamaño de partículas

- 60 micrones	89,2	91,7	90,6	91,1	91,2
- 55 "	84,8	87,0	88,4	88,6	90,2
- 50 "	82,9	83,3	86,4	86,9	86,4
- 45 "	79,3	78,0	80,0	81,3	83,6
- 40 "	76,1	75,0	77,2	75,6	78,0
- 35 "	67,7	68,5	68,5	69,3	70,9
- 30 "	62,2	61,9	60,9	63,1	64,0
- 25 "	55,0	55,3	55,3	57,0	57,1
- 20 "	47,5	47,5	47,7	49,6	51,0
- 15 "	37,5	38,5	37,5	39,8	41,1
- 10 "	27,8	28,6	28,6	29,6	32,5
- 7,5 "	23,2	22,8	22,5	23,8	22,4

Análisis químico

SiO_2	23,10	26,90	28,42	29,90	33,50
Al_2O_3	4,86	4,86	9,16	9,12	12,54
Fe_2O_3	2,14	2,15	2,16	2,12	2,12
CaO	64,96	58,23	54,90	53,24	45,02
SO_3	1,79	1,73	1,35	1,88	1,85
MgO	1,24	1,45	1,57	1,79	2,18
Pérdida	1,50	1,56	1,91	1,87	2,16
Total	99,59	99,71	99,47	99,92	99,37
Factor	2,38				
Razón	3,30				
A/F	2,27				
Cal libre:	0,54	0,54	0,43	0,25	0,21

Composición química

$SiO_2 \cdot 3CaO$	45,62				
$SiO_2 \cdot 2CaO$	31,89				
$Al_2O_3 \cdot 3CaO$	9,25				
$Al_2O_3Fe_2O_3 4CaO$	6,51				
SO_4Ca	3,04	2,94	2,30	3,20	3,15
MgO	1,24	1,45	1,57	1,79	2,18
Pérdida	1,50	1,56	1,91	1,87	2,16
Total	99,59				
Factor	2,38				
Razón	3,30				
A/F	2,27				
Cal libre	0,54	0,54	0,43	0,25	0,21

Resistencia a la tracción (Kg/cm^2)

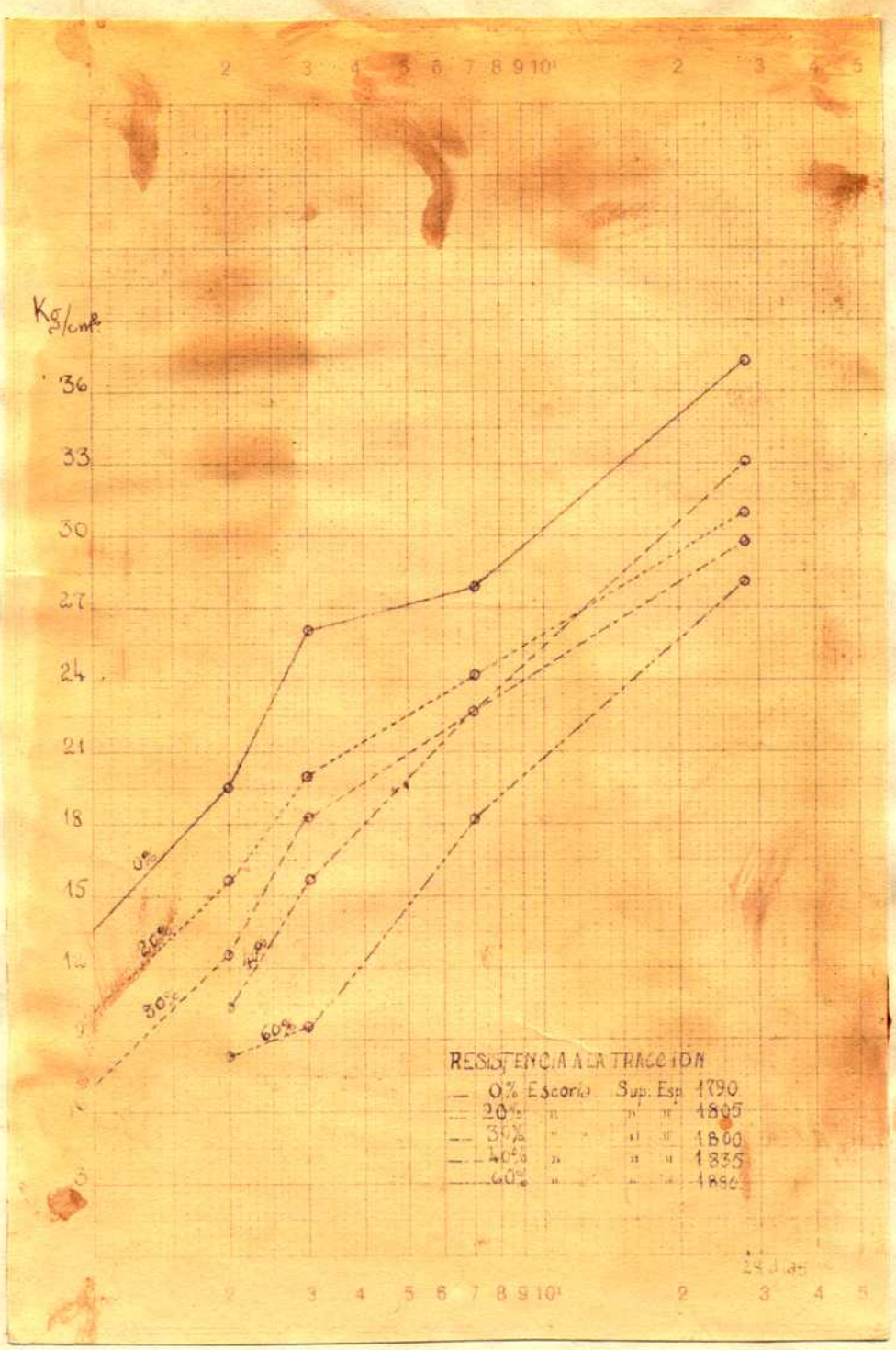
1 día	13,6	10,3	7,2	-	-
2 días	19,6	15,6	12,7	10,3	8,4
3 "	26,0	20,0	18,3	15,7	9,5
7 "	27,8	24,2	22,8	22,8	19,2
28 "	37,3	30,8	33,0	29,6	28,2
Módulo 28 días	124,3	100,9	94,0	78,4	65,3

Resistencia a la compresión (Kg/cm^2)

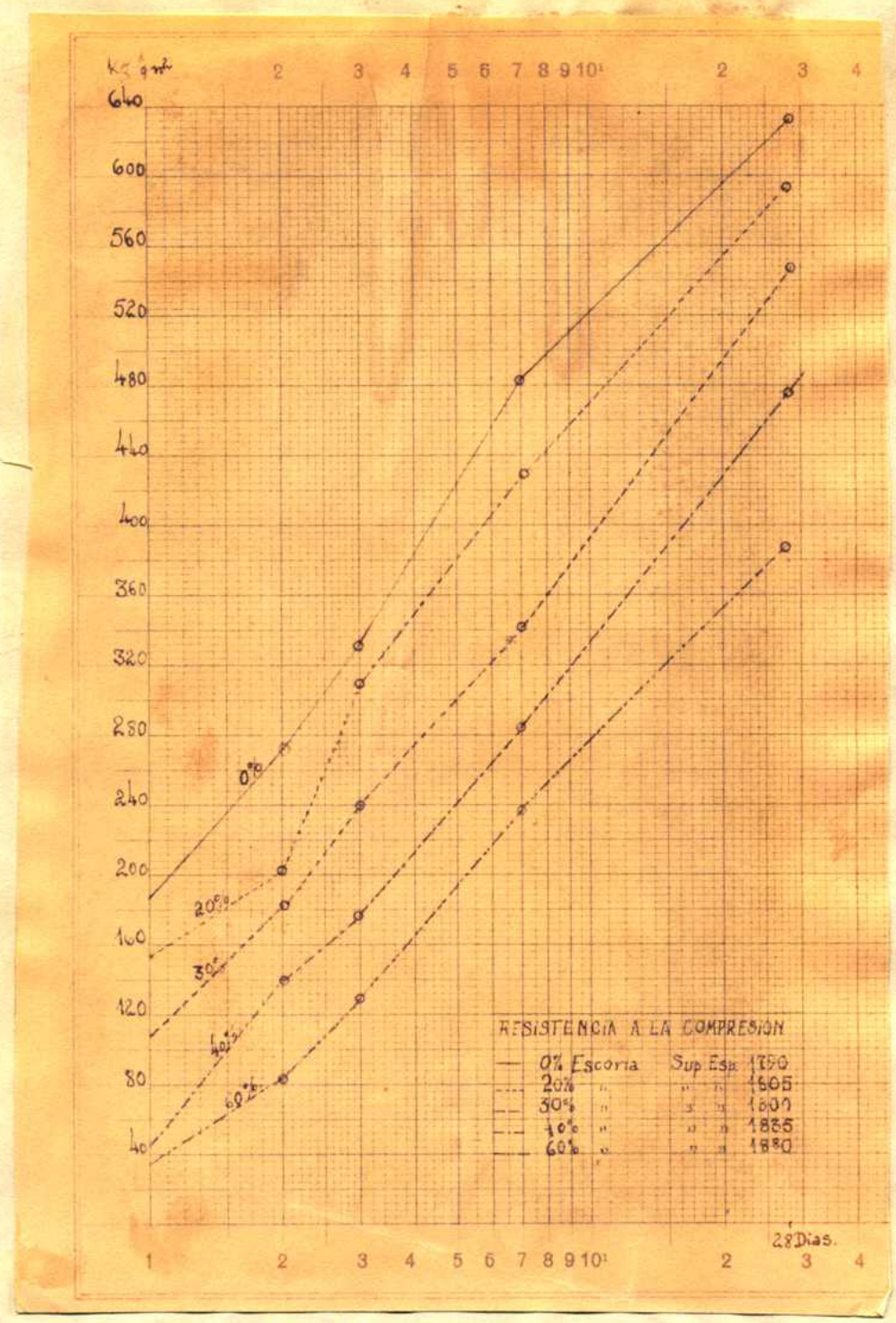
1 día	188	154	98	46	35
2 días	274	202	182	140	84
3 "	334	310	240	177	130
7 "	482	429	342	284	237
28 "	631	554	547	474	387
Módulo 28 días	1909	1649	1409	1121	873

Resistencia a la compresión (Norma brasileña)
(Mortero plástico)

1 día	40		20		
3 días	136		74		
7 "	214		145		
28 "	383		322		
Asentamiento	160		170		
% H_2O	41,7		43,6		



RESISTENCIA A LA TRACCION



RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTOS DE ESCORIAS (20-30 40 y 60 % de escorias.)
(Superficie específica: 1800-1900 cm^2/gr.)

Fraguado:

A excepción del cemento con 20% de escorias el principio y el fin de fraguado aumenta con el mayor contenido de escorias, si se lo compara con un cemento sin escorias.

Aun en el cemento con 30 % de escorias en el cual se ha mantenidolla relación clinker/ yeso x 100 = 4,13como en el cemento Portland sin escorias el fraguado aumenta.

El aumento de fraguado es una hora para los cementos con 30 y 40 % de escorias y de una hora y media para los cemntos con 60 % de escorias para el principio; y para el fin de fraguado el aumento es de una hora y media para los cementos con 30 y40 % de escorias y solo de 45 minutos para el cemento con 60 % de escorias.

Expansión:

En general la expansión del cemento con escorias (20 y 30 % de escorias) es menor que el del cemento Portland obtenido con el mismo clinker debido a la menor cantidad de cal libre; que es uno de los factores determinantes de la expansión del cemento.

Otro factor es el MgO que en el oemento se encuentra libre (no combinado); pero en el cemento de escorias a pesar de su mayor contenido en MgO no se observa mayor expansión, debido a que éste está combinado.

Consistencia Normal:

La consistencia normal solamente disminuye en los cementos con un alto porcentaje de escorias (60 %).

En los demás cementos de escorias se mantiene con el mismo valor que el cemento de comparación obtenido con el mismo clinker.

Resistencia ala tracción :

Las resistencias a la tracción disminuyen con el aumento de escorias , siendo nula (en la balanza de Michaelis) las resistencias al primer día en los cementos con 40 y 60 % de escorias.-

Si comparamos estas diferencias [illegible] se observa que los valores absolutos de las diferencias de las resistencias a la tracción para una misma edad : en un mismo cemento esta diferencia aumenta de las 24 horas a los 3 días : la diferencia mínima es a los 7 días para aumentar un poco a los 28 días.

DIFERENCIAS ABSOLUTAS DAE IAS RESISTENCIAS A LA TRACCION

Cemento	20% Escoria	30% Escoria	40% Escoria	60% Escoria
1 día	3,3 Kg/cm^2	6,4 Kg/cm^2	13,6 Kg/cm^2	13,6 Kg/cm^2
2 días	4,0 "	6,9 "	9,3 "	11,2 "
3 "	6,0 "	7,7 "	10,3 "	16,5 "
7 "	3,6 "	5,o "	5,0 "	8,6 "
28 "	6,5 "	4,3 "	7,7 "	9,1 "
MÓdulo 28 días	23,4 "	30,3 "	45,9 "	59,0 "

Estos valores del cuadro fueron deducidos asi:
Para el cemento con 30 % de escorias.

	0 % de escorias	30 % escorias	Diferencia
1 día	13,6 Kg/cm^2	7,2 Kg/cm^2	6,4 Kg/cm^2
2 días	19,6 "	12,7 "	6,9 "
3 días	26,0 "	18,3 "	7,7 "
27 días	27,8 "	22,8 "	5,0 "
28 días	37,3 "	33,0 "	4,3 "
Módulo 28 días	124,3 "	94,0 "	30,3 "

La relación entre las difrencias de los módulos de dos cementos de escorias es aproximadamente proporcional a la relación del contenido de escorias de esos dos cementos. Como se ve a continuación:

$3 = \frac{60\%}{20\%} \approx \frac{59,0}{23,4} = 2,6$ $\quad 2 = \frac{60\%}{30\%} \approx \frac{59,0}{30,3} = 1,9$ $\quad 2 = \frac{40\%}{20\%} \approx \frac{45,9}{23,4} = 1,5$

RESISTENCIAS A LA COMPRESION

A igual que la anterior la resistencia a la compresión disminuye con el aumento de escorias.

Al primer día la resistencia disminuye en 50% si se compara cemento con 30 % de escorias con el cemento sin escorias; y otros 50 % si se comparan las resistencias de los cementos de 30 y 40 % escorias.

DIFERENCIAS ABSOLUTAS DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION

Cemento	20 % Esc	30 % Esc	40 % Esc	60 % Esc
1 día	34 Kg/cm²	90 Kg/cm²	113 Kg/cm²	153 Kg/cm²
2 días	72 "	92 "	134 "	190 "
3 "	94 "	94 "	157 "	204 "
7 "	53 "	140 "	198 "	245 "
28 "	77 "	84 "	157 "	244 "
Módulo 28 días	260 "	500 "	788 "	1036 "

En el cemento con 20 % de escorias las diferencias absolutas presentan fluctuaciones variables en sus valores; en cambio el cemento con 30 % de escorias esta diferencia se mantiene en un valor constante los tres primeros días; siendo menor a los siete días para aumentar un poco los veinteiocho días.

Con los cementos de 40 y 60 % de escorias estas diferencias aumentan progresivamente hasta los siete días para decaer un poco a los veinte ocho días.-

[illegible] y [illegible] ESCORIA

(Influencia de la finura en las resistencias)

La experiencia ha demostrado que la mayor molienda o sea la producción de un cemento de mayor superficie específica tienen mayores resistencias, menor expansión y menor tiempo de fraguado. (Tesis del Dr. Mario M. Mazza "Influencia de la finura del cemento Portland sobre las propiedades físico mecánicas") (Universidad de La Plata 1940).

En estas experiencias que a continuación se detallan se trata de obtener cementos de mayor resistencias y sobre todo que satisfagan los requerimientos de sutileza (Expansión en autoclave).

(Se anotan con fines comparativos los resultados obtenidos con una molienda de 45 minutos 2700 revoluciones del molino).

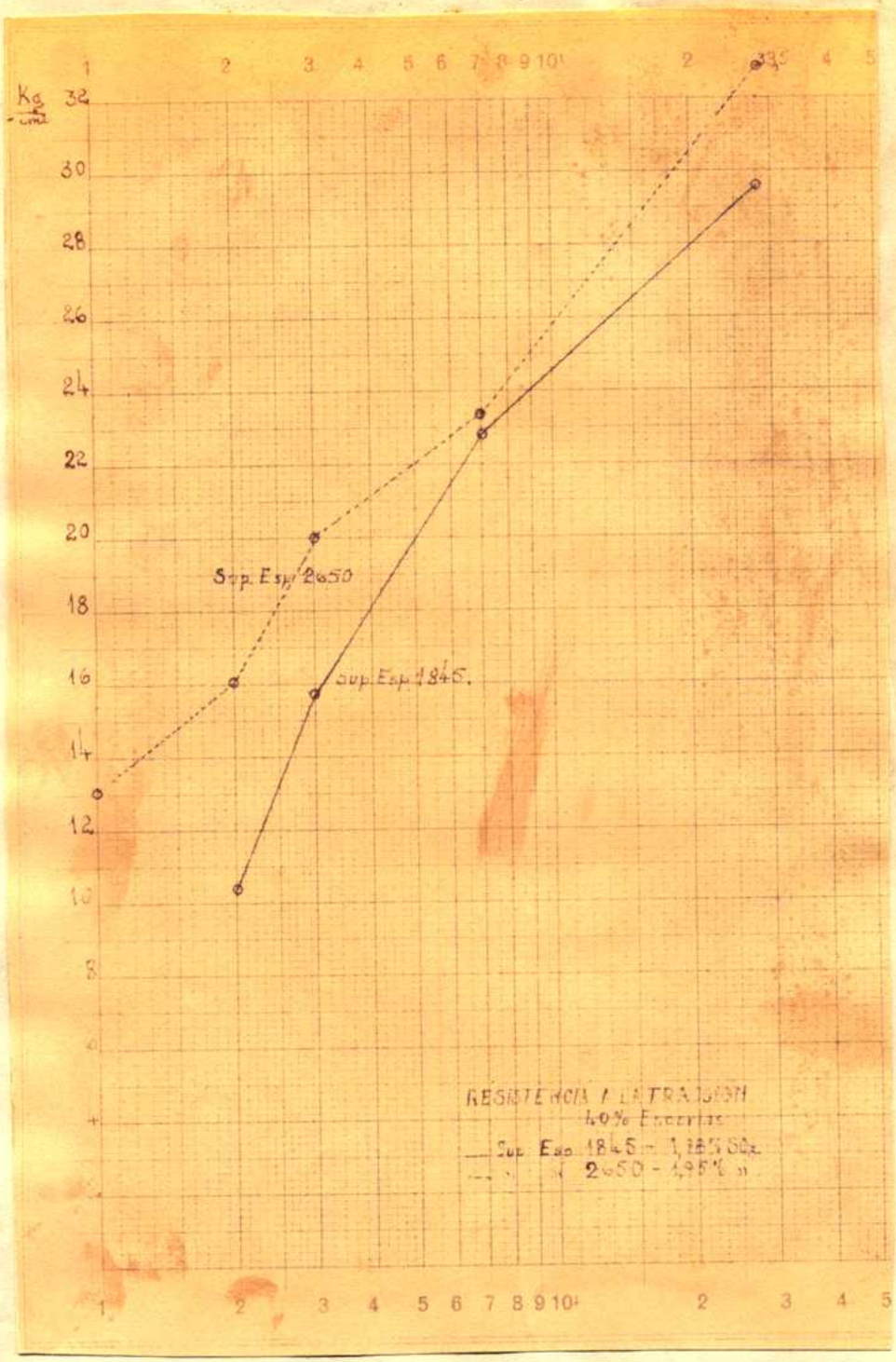
CLINKER	3,5000 Kg.	3,500 Kg.	2,250 Kg.	2,250 Kg.
Yeso	0,250 "	0,250 "	0,250 "	0,250 "
Escoria	2,500 "	2,500 "	3,750 "	3,750 "
Carga total	6,250 "	6,250 "	6,250 "	6,250 "
% escoria	40	40	60	60
Rel $\frac{\text{Yeso}}{\text{Clinker}}$ x 100	7,15	7,15	11,1	11,1
Revoluciones del molino	2700	7200	2700	7200
Residuo Nº 200	2,2 %	0,4 %	1,7 %	0,2 %
Fraguado				
Principio	5h 15 min	5h 05 min	5h 45 min	3h 35 min
Fin	7h 20 min	6h 45 min	6h 50 min	6h 20 min
Consist. Normal	27,5	28,0	26,5	27,0
Expansión	V a r i l l a s r o t a s			
Finura Nº 325	91,1 98,9	98,5	91,2	98,0
Superf. especif.	1845	2650	1880	2635

SO_3 %	1,08	1,95	1,35	1,74
SO_4Ca %	3,24	3,32	3,15	2,96
Distribución del tamaño de partículas.				
- 60 micrones	91,1	-	91,2	-
-55 "	88,6	-	90,2	-
- 50 "	86,9	98,5	86,4	98,0
- 45 "	81,3	95,8	83,6	95,1
- 40 "	75,6	93,4	78,0	90,6
- 35 "	69,3	89,1	70,9	84,9
- 30 "	63,1	81,7	64,0	81,4
- 25 "	57,0	75,9	57,1	73,2
- 20 "	49,6	70,4	51,0	67,1
- 15 "	39,8	58,8	41,1	57,6
- 10 "	29,6	47,0	32,5	45,9
- 7,5 "	23,0	38,8	22,4	38,4
Resistencia a la tracción (Kg/cm^2)				
1 día	-	13,1	-	7,8
2 días	10,3	16,0	8,4	16,5
3 "	15,7	20,0	9,5	17,3
7 "	22,8	23,4	19,2	20,2
28 "	29,6	33,5	28,2	28,2
Módulo 28 días	78,4	106,0	65,3	90,0
Resistencia a la compresión (Kg/cm^2)				
1 día	46	158	35	44
2días	140	260	84	132
3 "	177	304	130	189
7 "	284	362	237	321
28 "	474	584	387	469
Módulo 28 días	1121	1666	873	1155

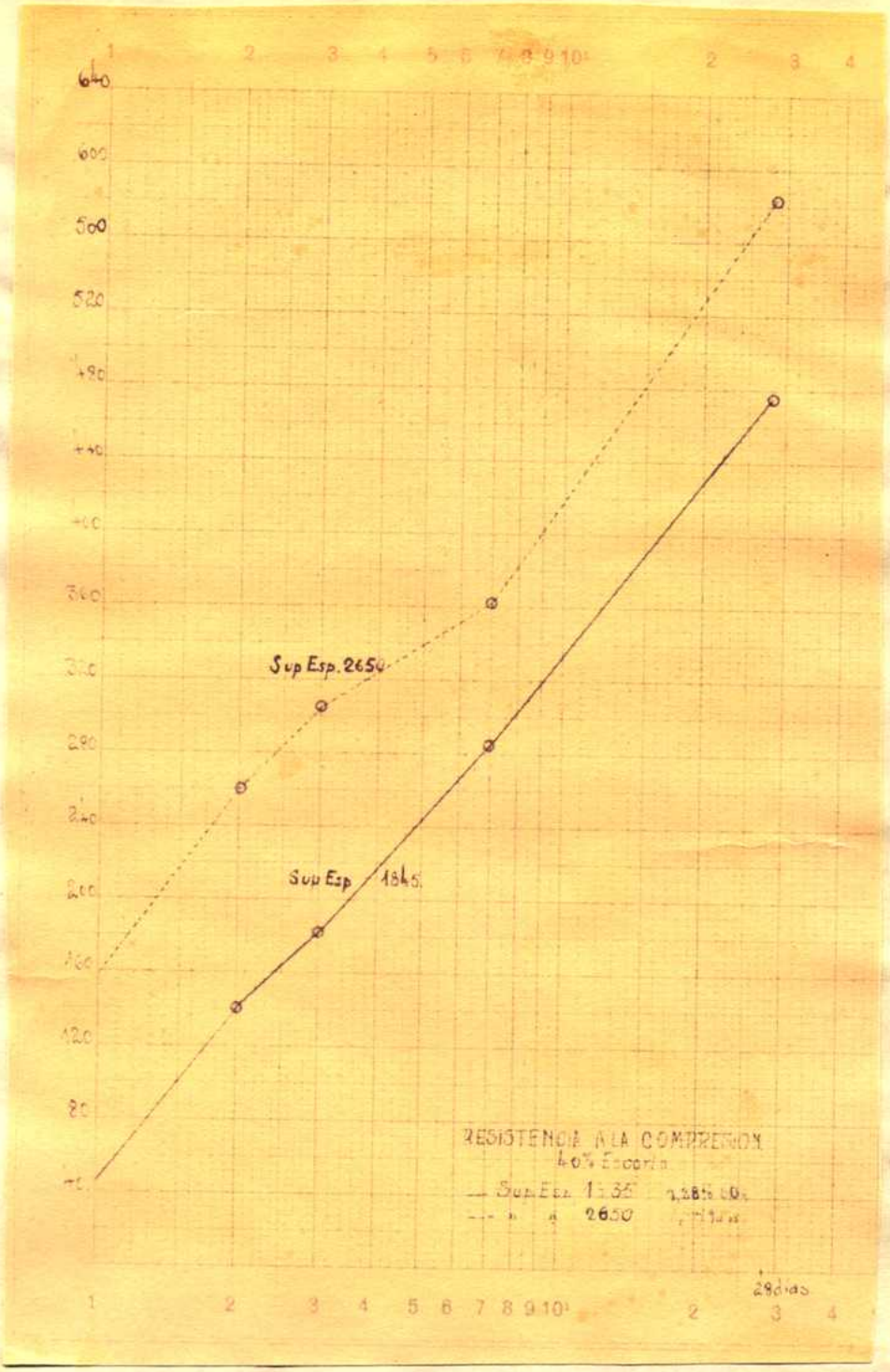
Resistencia a la compresión (Norma brasileña)

Mortero plástico.

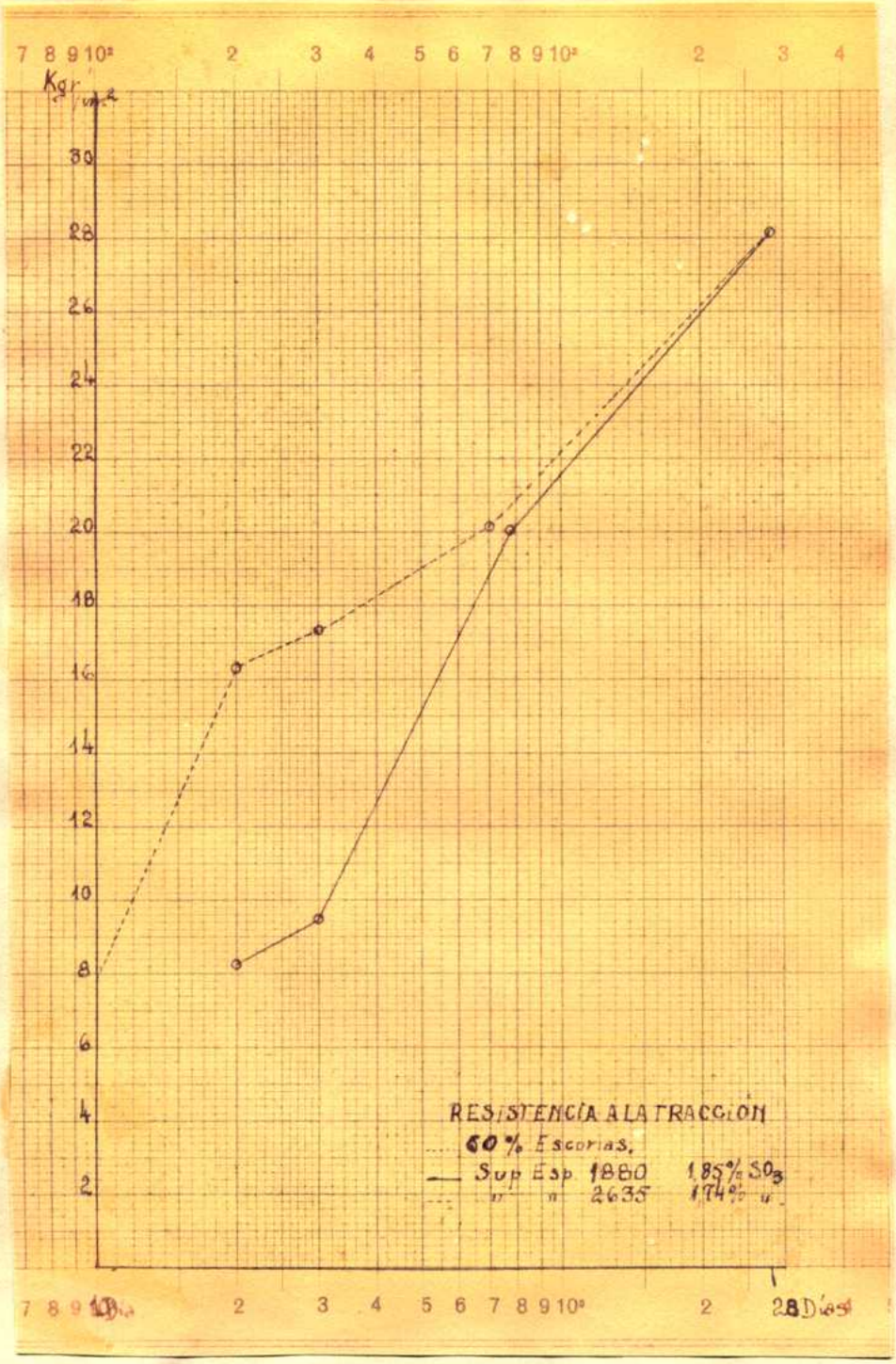
1 Día		58	No se hicieron porque las resistencias a las 24 horas son bajas; el cilindro se rompe al retirarlo del molde.
3 días		128	
7 "		163	
28 "		383	
Indice de asentamiento		161 mm	
% H_2O		41,0	



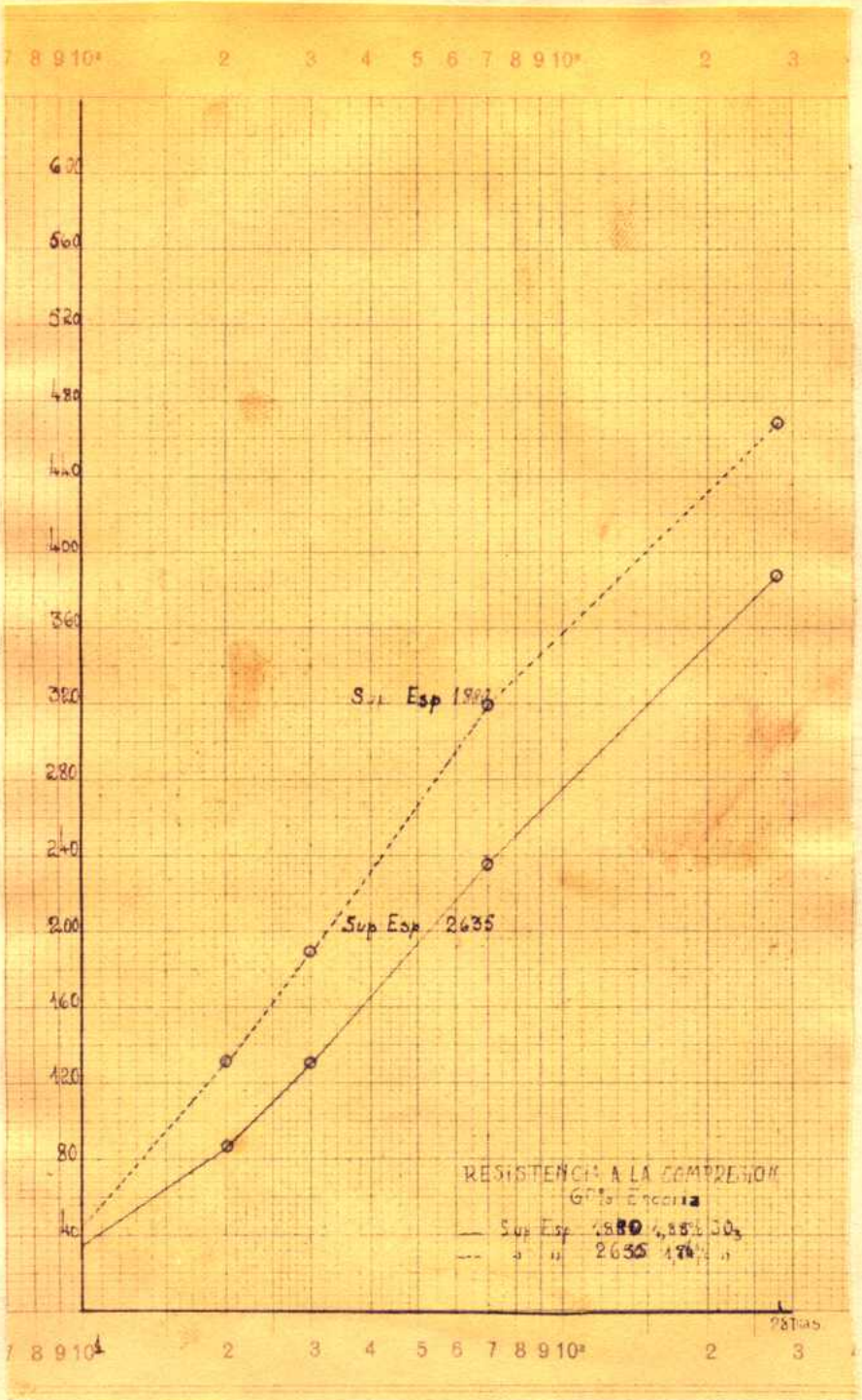
RESISTENCIAS A LA TRACCION



RESISTENCIAS A LA COMPRESION



RESISTENCIAS A LA TRACCION



RESISTENCIAS A LA COMPRESION

CEMENTOS CON 40 Y 60 % DE ESCORIAS

Influencia de la molienda sobre las propiedades físico mecánicas.

(Comparación entre cementos de superficies específicas 1800 y 2600)

Se pesaron las mismas cantidades de clinker, escoria y yeso de los primeros ensayos pero sometiéndolos a un mayor tiempo de molienda (2 horas; 7200 revoluciones del molino).

Los residuos en los tamices Nº 200 y 325 bajaron a 0,4 y 0,2 %; y 1,5 y 2,0 % respectivamente.

Veamos las variaciones en las propiedades físico - mecánicas .-

Fraguado: En el cemento de 40 % de escorias el principio no varió fundamentalmente ; pero se acortó el período entre el principio y el fin de fraguado en 25 minutos.

En el cemento de 60 % de escorias el principio de fraguado se acortó en 2 horas y el fin en 30 minutos.

Expansión:

La molienda fina no mejora esta propiedad; retiraronse nuevamente las varillas rotas del autoclave .

La experiencia fracasa cualquiera fuera la finura del cemento con 40 y 60 % de escorias.

Resistencias a la tracción:

Cemento de 40 % de escorias: La molienda fina del mismo a una superficie específica de 2650 cm^2/gr. permite obtener una resistencia a las 24 horas que es comparable a la del cemento Portland utilizado en este trabajo como tipo de comparación

Las resistencias observadas a los 2, 3, 7, y 28 días que las obtenidas en el mismo cemento de molienda más gruesa.

Cemento de 60 % de escorias: Los aumentos en las resistencias a la tracción son más preciables; puesto que se duplican los valores al primer, segundo y tercer día.

El aumento a los 7 días es poco apreciable y nulo a los 28 días.

Resistencia a la compresión:

Cemento de 40 % de escorias: Los aumentos en las resistencias a la compresión por la mayor finura del cemento son más apreciables en los ensayos de los primeros días y de los 28 días, siendo menor a los 7 días .

	Resistencia compresión		Diferencia
Finura Nº325	91,1 %	98,5 %	
Sup. especif.	1845	2650	
1 día	46 Kg/cm^2	158 Kg/cm^2	112 Kg/cm2
2 días	140 "	260 "	120 "
3 "	177 "	304 "	127 "
7 "	284 "	362 "	78 "
28 "	474 "	584 "	110 "
Módulo 28 días	1121 "	1668 "	547 "

Cemento de 60 % de escorias:En general se observan valores superiores en el cemento de molienda fina; aunque el aumento de la resistencia a las 24 horas no es apreciable en valor ; éstas diferencias se hacen mayores cada vez en los ensayos de 2,3 y 7 días en que alcanza el valor máximo y estacionario que se mantiene a los 28 dias; como puede apreciarse en el cuadro siguiente:

	Resistencia compresión		Diferencia.
Finura Nº 325	91,2 %	98,0 %	
Sup. especif.	1880	2635	
1 día	35 Kg/cm^2	44 Kg/cm^2	9 Kg/cm^2
2 días	48 "	132 "	48 "
3 días	130 "	189 "	59 "
7 "	237 "	321 "	84 "
28 "	387 "	469 "	82 "
Módulo 28 días	873 "	1155 "	282 "

CEMENTO DE 30 % DE ESCORIAS

(Influencia de la finura y del contenido en yeso sobre las propiedades físico mecánicas)

Dado que las propiedades físico-mecánicas (resistencias a la tracción compresión especialmente) son bajas enlos cementos de 40 y 60 % de escorias y no satisfacen el ensayo de expansión (autoclave) y los buenos resultados obtenidos con cemento de 30 % de escorias se realizó un estudio mas intenso del mismo a tres finuras distintas y a una misma finura con distintos porcentajes de SO_3 para hallar la proporción a la cual el fraguado se acercara más al del cemento Portland sin escorias.

A continuación se resumen los resultados de las experiencias realizadas.

Clinker	4,180	4,180	4,333	4,300	4,293
Yeso	0,172	0,172	0,060	0,100	0,120
Escoria	1,898	1,898	1,857	1,850	1,837
Total	6,250 Kg.	6,250 Kg.	6,250 Kg.	6,250 Kg.	6,250 Kg.
$\frac{\text{Yeso}}{\text{Clinker}} \times 100$	4,13	4,13	1,38	2,32	2,80
Revol. del molino	2.700	7200	5400	5400	5400
Residuo 200	1,6 %	0,6 %	0,8	1,2 %	1,4%
Fraguado					
Principio	5h. 30min.	4h. 25min.	6h. 55min	4h.35min.	4h. 50min.
Fin	7h. 20min.	5h.55min.	3h. 30min.	6h. 05min.	5h. 55min.
Cons.nor.	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0
Expansión	0,003 %	0,084	0,038 %	0,089 %	0,089
Fin. 325	90,6	98,5	97,2	97,0	96,1
Sup. Esp.	1800	2610	2300	2290	2330
$\%SO_3$	1,35	1,36	0,72	1,02	1,14
$\% SO_4Ca$.	2,30	2,31	1,22	1,73	1,94

Distribución del tamaño de las partículas.

- 60 micrones	90,6	-	-	-	-
- 55 "	88,4	98,5	97,2	97,0	96,1
- 50 "	86,4	95,6	94,4	94,2	94,3
- 45 "	80,0	92,9	90,1	92,3	91,6
- 40 "	77,2	88,2	88,4	88,3	86,2
- 35 "	68,5	86,1	80,1	83,9	84,6
- 30 "	60,9	77,0	72,9	77,0	76,5
- 25 "	55,3	72,8	66,5	68,3	67,4
- 20 "	47,7	66,3	59,4	59,6	61,5
- 15 "	37,5	58,1	47,7	49,9	49,1
- 10 "	28,6	46,7	39,4	38,8	39,4
- 7,5 "	22,5	38,5	32,0	31,2	33,0

Resistencia a la tracción (KG/cm^2)

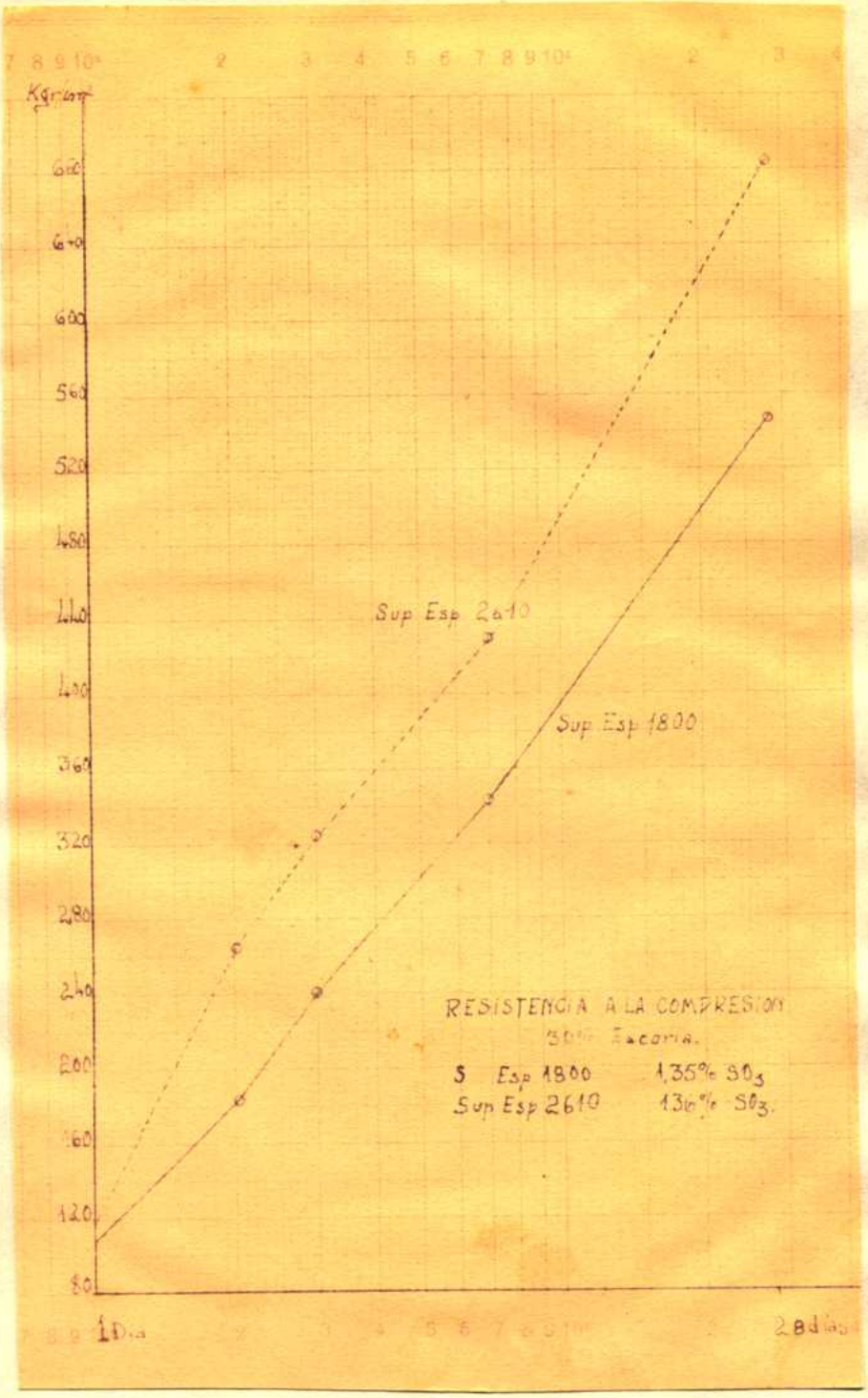
1 día	7,2	11,7	5,9	8,3	7,4
2 días	12,7	17,0	14,2	15,8	14,0
3 "	18,3	22,5	20,5	20,6	18,4
7 "	22,8	27,3	23,7	24,3	22,2
28 "	33,0	33,5	32,6	35,9	33,6
Módulo 28 días	84,0	112,0	96,9	104,9	95,6

Resistencia a la compresión (Kg/cm^2)

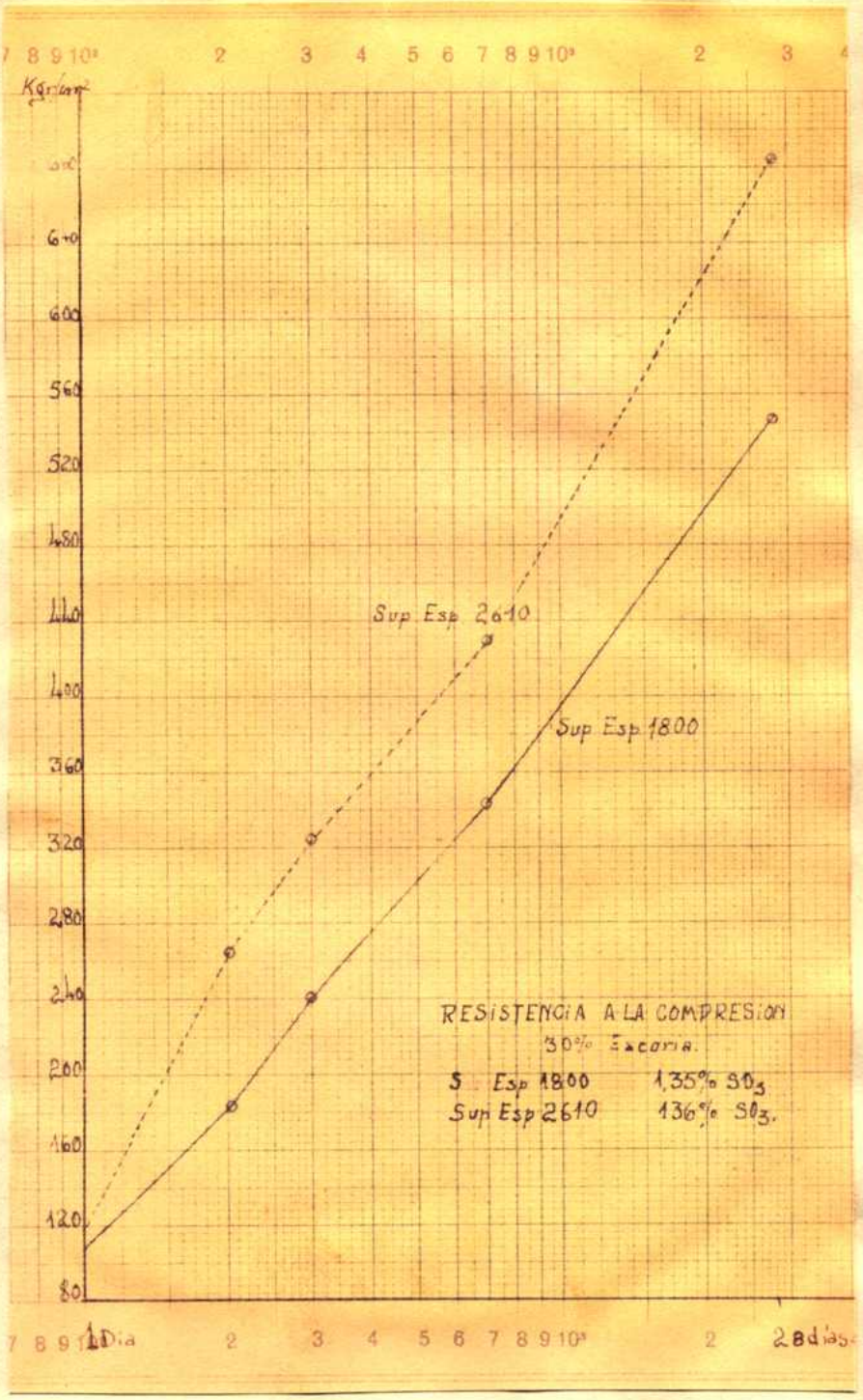
1 día	98	118	104	104	100
2 días	182	264	212	204	202
3 "	240	324	298	280	243
7 "	342	429	386	418	397
28 "	547	663	600	580	563
Módulo 28 días	1409	1798	1600	1586	1505

Resistencia a la compresión. (Norma brasileña)
Mortero plástico.

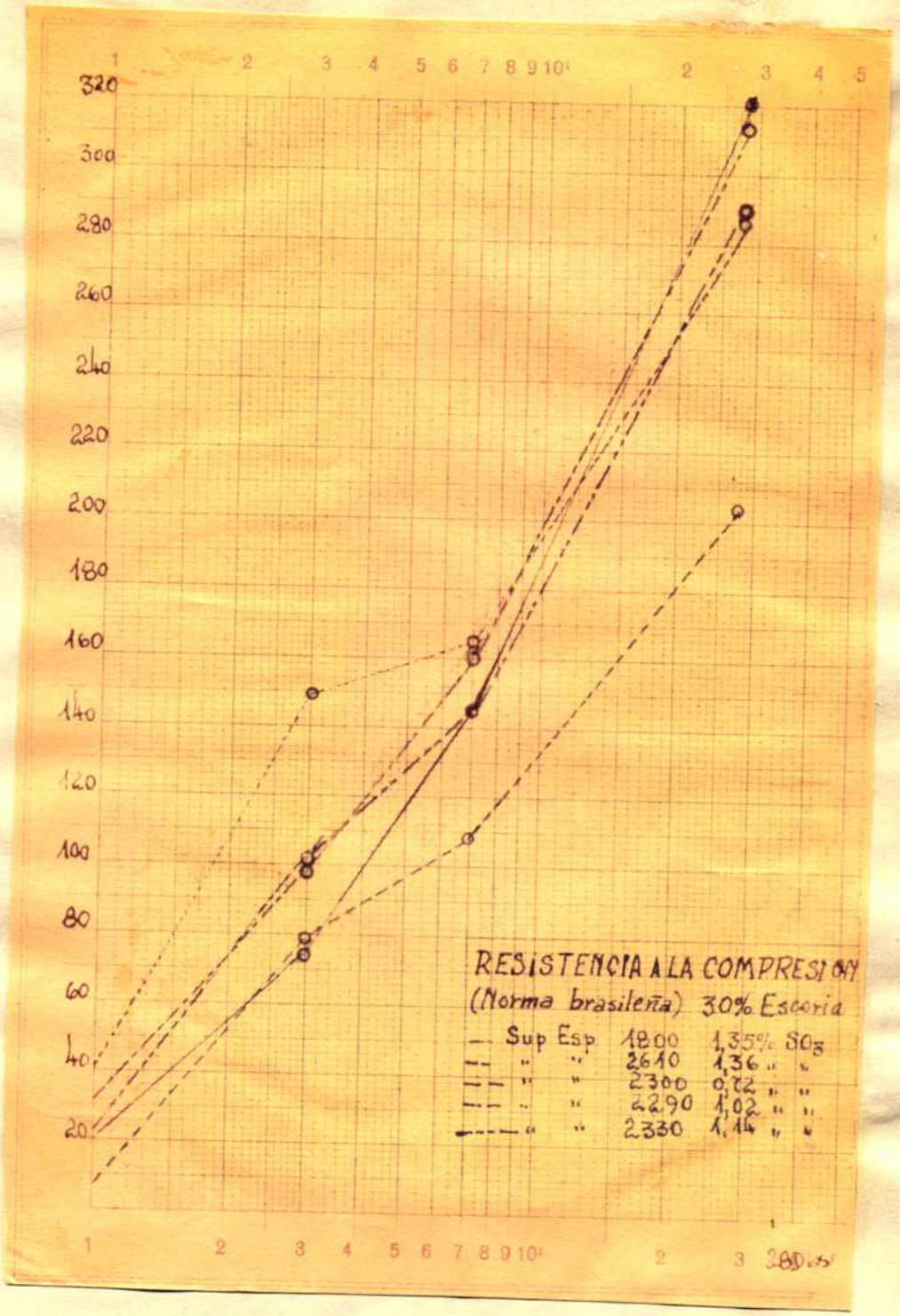
1día	20 Kg/cm^2	40 Kg/cm^2	7 Kg/cm^2	32 Kg/cm^2	22 Kg/cm^2
3 días	74 "	149 "	78 "	98 "	101 "
7 días	145 "	165 "	108 "	160 "	145 "
28 días	322 "	286 "	204 "	313 "	290 "
Indice de asentamiento	170 mm.	160 mm.	169 mm.	160 mm.	170mm.
% H_2O	43,6	42,3	51,5	43,6	43,6



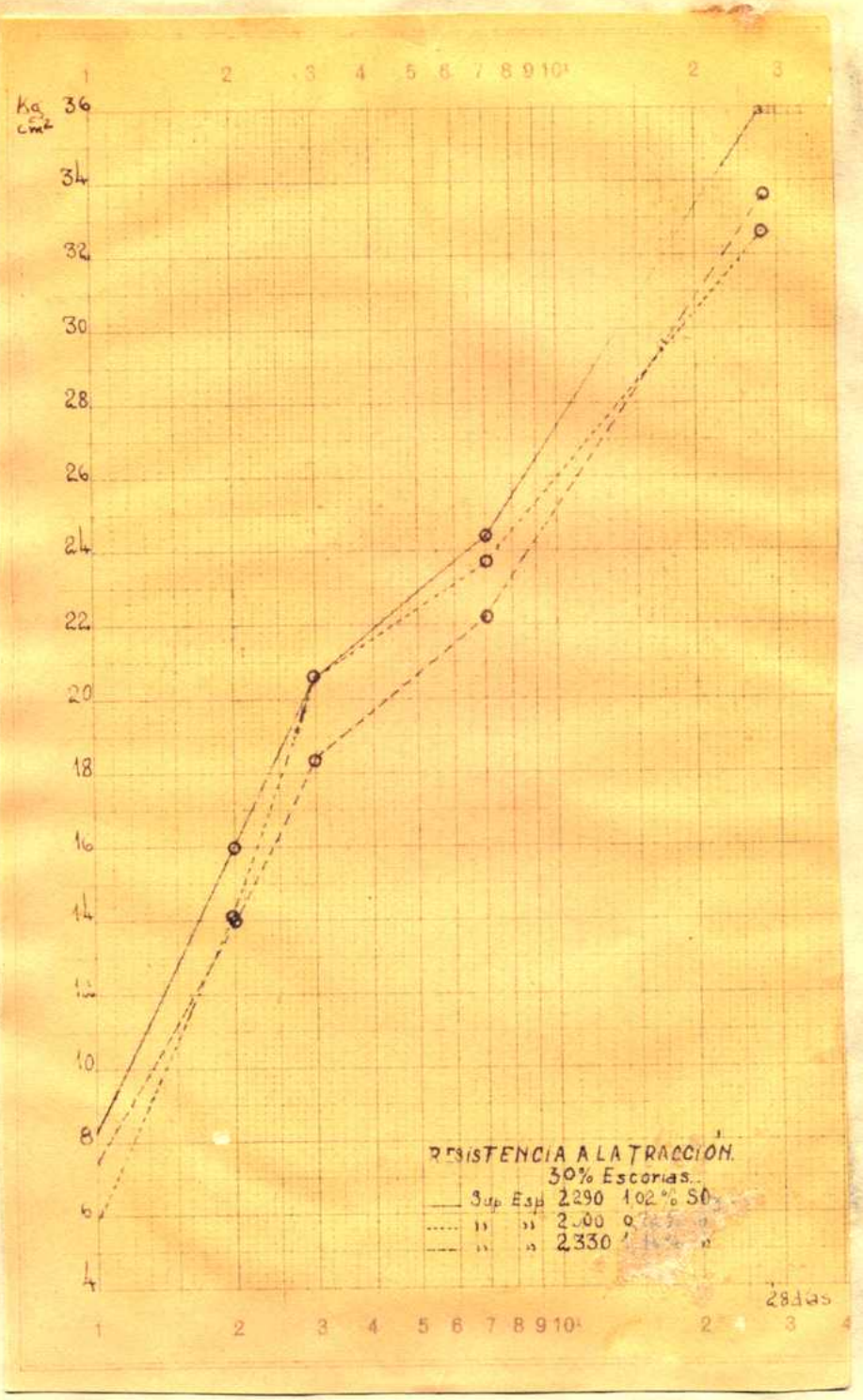
RESISTENCIAS A LA TRACCION



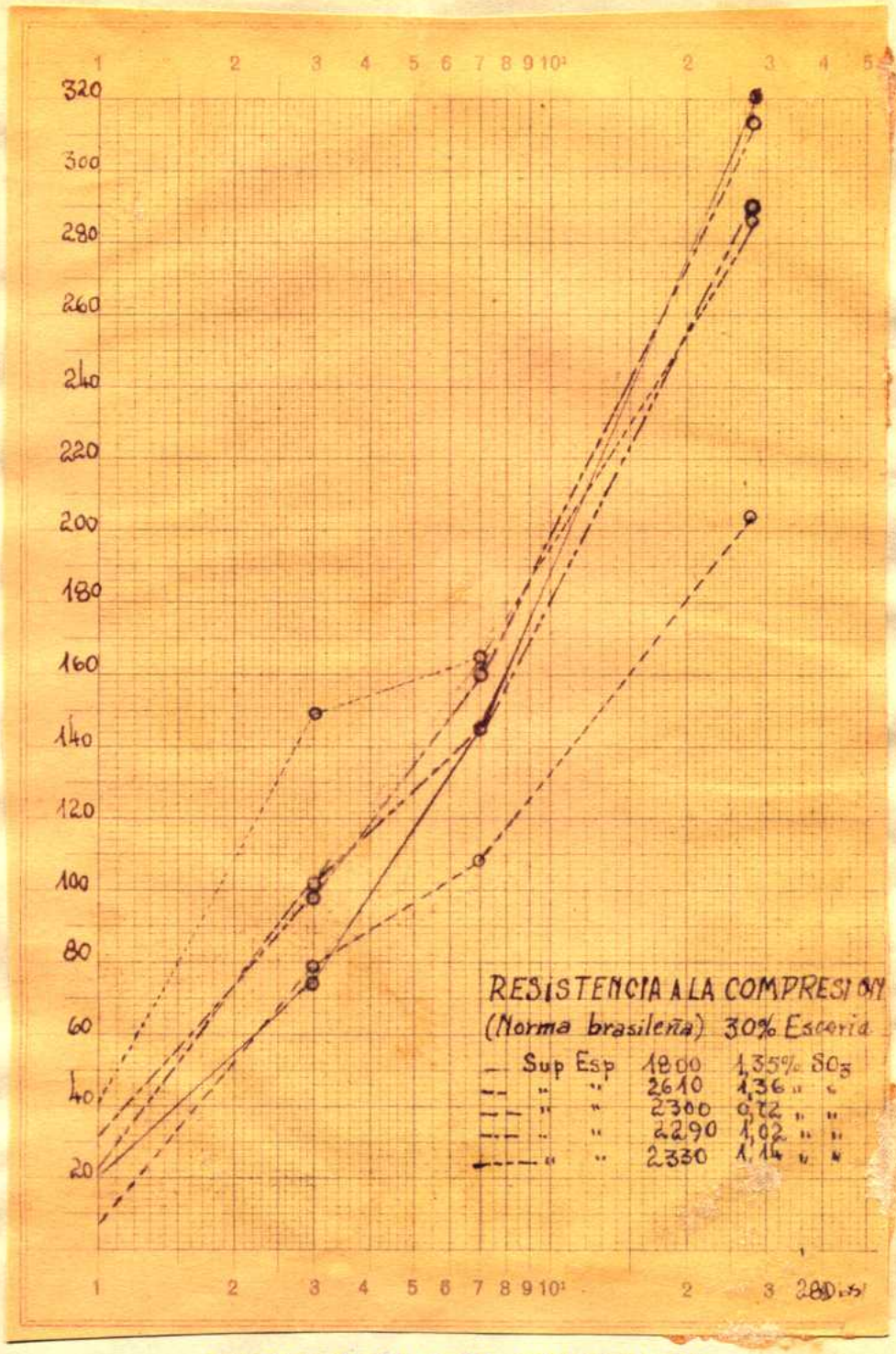
RESISTENCIAS A LA COMPRESION



RESISTENCIAS A LA TRACCION



RESISTENCIAS A LA COMPRESION



RESISTENCIA A LA COMPRESION
(Norma brasileña)

CEMENTOS CON 30 % DE ESCORIAS

Influencia de la molienda sobre las propiedades físicas y mecánicas.

(Superficies específicas 1800 y 2610 cm^2/gr.)

Fraguado:

Manteniendo la relación $\frac{clinker}{Yeso} \times 100 = 4,13$ igual que en el cemento Portland de comparación en ambos cementos con 30 % de escorias: el fraguado en aquel de superficie específica 1800 cm^2/gr. es mayor que el de superficie específica 2610 cm^2/gr.; y éste a su vez es igual al fraguado del cemento de comparación.

Por lo tanto: para un mismo tipo de cemento la mayor finura disminuye el tiempo de fraguado.

Resistencia a la tracción:

Esta experimenta un aumento general de Kg/cm^2 en las resistencias hasta los siete días; este aumento no se observó en los cementos con 40 y 60 % de escorias molidos a la finura de 2600 cm^2/gr.

Si bien en la resistencia a los siete días es comparable a la del cemento Portland obtenido con el mismo clinker; no lo son las resistencias a los tres primeros días, verificpahdose un aumento en la resistencia al pasar de tres a siete días.

	0 % Esc	30 % Esc S.E: 2610	Dif.
Finura Nº325	89,2 %	98,5 %	
Sup. Especif.	1790	2610	
1 día	13,6 Kg/cm^2	11,7 Kg/cm^2	1,9 Kg/c
2 días	20,0 "	17,0 "	3,0 "
3 "	26,0 "	22,5 "	3,5 "
7 "	27,8 "	27,3 "	0,5 "
28 "	37,3 "	33,5 "	3,8 "
Módulo 28 días	124,7 "	112,0 "	12,7 "

Resistencia a la compresión: (Cubos 5 cm x 5cm)

A excepción de las resistencias a las 24 horas y a los 28 días ; se obsrva un aumento casi contante de 80 Kg/cm^2 en los valores de las resistencias a los 2 3 y 7 días.

La resistencia a la compresión observada a los 28 dias es mayor que la del cemento proveniente del mismo clinker pero sin agregado de escorias.

Se deduce por lo tanto que la molienda fina acentúa la actividad de la escoria y esta se manifiesta recién después de los siete días.

	0 % escoria	30 % escoria	Dif.
Finura Nº 325	89,2	98,5 %	
Super. especif.	1790	2610	
1 día	188 Kg/cm^2	118 Kg/cm^2	70
2 días	274 "	264 "	10
3 "	334 "	324 "	10
7 "	482 "	429 "	53
28 "	631 "	663 "	-32
Módulo 28 días	1909	1798	111

Resistencia a la compresión: (Norma brasileña)

Mortero plástico.

La mayor finura del cemnto de escorias aumenta las resistencias a valores dos veces mayores en el primer y tercer día; en éste ultimo caso la resistencia es mayor que la obtenida con el cemento si escorias.

A los siete días las resistencias caen a un valor; hacia el cual parecieran tender todos los cementos de escorias de alta finura (Entre 160 y 165 Kg/cm^2).

A los veinteiocho dias las resistencias son apreciablemente menores.

Influencia del contenido en yeso sobre las propiedades físico mecanicas.

Con tres cementos a una finura prácticamente constante de 2300 cm^2/gr. se hicieron ensayos con distintas proporciones de SO_3 ; las variaciones en las propiedades físico-mecánicas de estos cementos se comentan acontinuación.-

Fraguado:

Con un cemento conteniendo 1,02 % de SO_3 se obtiene un fraguado semejante al del cemento Portland obtenido con el mismo clinker conteniendo 1,79 % de SO_3.

Con una cantidad mayor se retarda el principio ; pero se acorta el fin de fragiado; y con una cantidad menor de yeso (0.74 % de SO_3) se obtienen cementos de fraguado rápido.

Resistencia a la tracción:

Con 1,02 % de SO_3 se obtienen los mejores resultados en las resistencias desde el primer hasta los veinteiocho días.

Una cantidad mayor de yeso mejora solamente las resistencias a uno y veinteiocho días si es comparado con un cemento con menos de 1,0 % de yeso.

Resistencia a la compresión

Las resistencias al primer día son prácticamente iguales en los tres cementos.

Con menos de 1,0 % de SO_3 las resistencias son mayores a los dos, tres y veinteiocho días.

Con menos de 1,0 % desde el primer día la resistencia es menor; acentuandose las diferencias a los 3, 7 y 28 días.

Los módulos de 28 dias entre cementos de 1,0 y menos de 1,0 % de SO_3 no difieren mayormente.

Resistencia ala compresión (Norma brasileña). Mortero plástico.

Los cementos con menos de 1,0 % de SO_3 necesitan una mayor cantidad de agua (51,5 %)para dar un mortero cuya consistencia definida por el índice de asentamiento sea el definido por la especificación.; con la consecuencia de obtener un

mortero de menor resistencia.

El cemento conteniendo 1,02 % de SO_3 da las mejores resistencias; obteniéndose a los siete días 165 Kg/cm^2 valor igualmente obtenido con un cemento de mayor finura (Sup. espec.+2610); observándose también a los veinteiocho días la mayor resistencia.

En todos los casos de cementos de 3 % de escorias de alta finura la resistencia observada a los 28 días es menor que un cemento con la misma cantidad de escoria y de menor finura (1800 cm^2/gr de superficie espécífica)

Conclusiones: Por todas las propiedades físico mecánicas enuncia- la mejor proporción de yeso para un cemento de escorias (30 %) y de una superficie espécífica es 1,02 % de SO_3 osea 1,73 % de SO_4Ca.

ENSAYOS COMPARATIVOS CON MATERIAL INERTE
(30 % de arena.)

Como se ha visto que 30 % de escorias es la proporción óptima para ser agregada al clinker y obtener por molienda conjunta un cemento de escorias que se ajusta alas especificaciones en vigencia para el cemento Portland.

Ahora bien para verificar cuantitativamente la actividad y la influencia de la escoria se hizo un estudio comparativo con arena oriental, empleada como material inerte; puesto que se sabe que aún a molienda fina ésta está desprovista de propiedades puzolánicas.

Granulometría de la arena empleada:

Retenido por tamiz	Nº	28	9,2 %
" " "	Nº	48	44,2 "
" " "	Nº	100	95,2 "
" " "	Nº	200	99,2 "

Se pesaron las mismas cantidades de clinker y yeso reemplazando las cantidades de escoria por arena; moliendo ésta última um poco previamente para reducir las partílas toscas.

La mezcla se molió; tomando muestras sucesivas hasta obtener un cemento con arena de aproximadamente la misma superficie específica.

A continuación se hicieron ensayos físicos mecánicos de estos cementos detallándose acontinuación los resultados comparados con el cemento de escorias semejante:

ENSAYO Nº 1

	30 % arena	30 % escoria	Diferencia.
Finura Nº 325	88,9 %	90,6 %	
Sup. específica	1875	1800	

Resistencia a la tracción

1 día	9,0 Kg/cm^2	7,2 Kg/cm^2	1,8 Kg/cm^2
2 dias	12,6 "	12,7 "	-0,1 "
3 "	18,6 "	18,3 "	0,3 "
7 "	21,6 "	22,8 "	-1,2 "
28 "	28,0 "	33,0 "	-5,0 "
Módulo 28 días	80,8	84,0	-3,2

Resistencia a la compresión

1 día	98 Kg/cm^2	98 Kg/cm^2	--
2 días	222 "	182 "	40 Kg/cm^2
3 "	278 "	240 "	38 "
7 "	373 "	342 "	31 "
28 "	503 "	547 "	-44 "
Módulo 28 dias	1474	1409	65

Resistencia a la compresión (Norma brasileña)

1 día	28 Kg/cm^2	2o Kg/cm^2	8 Kg/cm^2
3 días	80 "	74 "	6 "
7 "	153 "	145 "	8 "
28 "	258 "	322 "	-64 "
Indice de asentamiento	153mm.	170 mm.	
% de agua	42,4	43,6	

ENSAYO Nº 2

	3o % arena	30 % escoria	Diferencia
Finura Nº 325	95,9 %	97,o %	
Sup, especifica	2290	2290	

Resistencia a la tracción.

1 día	7,7 Kg/cm^2	8,3 Kg/cm^2	-0,6 Kg/cm^2
2 días	14,4 "	15,8 "	-1,4 "
3 "	19,0 "	20,6 "	-1,6 "
7 "	22,3 "	24,3 "	-2,0 "
28 "	28,0 "	35,9 "	-7,9 "
Módulo 28 días	91,4	104,9	-13,5

Resistencia a la compresión

1 día	96 Kg/cm^2	104 Kg/cm^2	-8 Kg/cm^2
2 días	198 "	204 "	-6 "
3 "	249 "	280 "	-31 "
7 "	405 "	418 "	-13 "
28 "	548 "	580 "	-32 "
Módulo 28 días	1496 "	1586 "	-90

Resistencia a la compresión (Norma brasileña)

1 día	20 Kg/cm^2	32 Kg/cm^2	-12 Kg/cm^2
3 días	100 "	98 "	2 "
7 "	158 "	160 "	- 2 "
28 "	279 "	313 "	-34 "
Ind. asentamiento	161 mm.	160 mm	
% de agua	42,9	43,6	

ENSAYO Nº 3

Finura Nº 325	97,5 %	98,5 %	
Sup especif.	2620	2610	

Resistencia a la tracción.

1 día	11,4 Kg/cm^2	11,7 Kg/cm^2	-0,3 Kg/cm^2
2 días	20,0 "	17,0 "	3,0 "
3 "	21,7 "	22,5 "	-0,8 "
7 "	23,3 "	27,3 "	-4,0 "
28 "	27,8 "	33,5 "	-5,7 "
Módulo 28 días	104,2	112,0	-7,8

Resistencia a la compresión

1 día	102 Kg/cm^2	118 Kg/cm^2	16 Kg/cm^2
2 días	270 "	264 "	6
3 "	316 "	324 "	-8 "
7 "	381 "	429 "	-48 "
28 "	599 "	663 "	-64 "
Módulo 28 días	1728	1798	-78

Resistencia a lacompresión (Norma brasileña)

1 día	31 Kg/cm^2	40 Kg/cm^2	-9 Kg/cm^2
3 días	120 "	149 "	-29 "
7 "	160 "	165 "	-5 "
28 "	278 "	286 "	-8 "
Módulo 28 días	------		
Ind. asentamiento	160 mm	160 mm.	
% agua	42,4	42,3	

Las finuras del tamiz 325 a igualdad de superficie específica son menores para los cementos con arena que con escoria .

En general las resistencias a la tracción y compresión observadas en los cementos con escorias son superiores a las observadas en los cementos con arena en la misma proporción y de la misma superficie específica ; hecho que demuestra que la actividad de la escoria recién se manifiesta des pués de los siete días y especialmente a los 28 días.-

Es el cemento con 30 % de escorias y superficie específica 2290 cm^2/gr. y 1,62 % de SO_3 aquel en el cual las diferencias son mayores ; otro hecho que confirma que ésta es la finura y la proporción de yeso con el que se obtienen las mejores propiedades físico-mecánicas.

COMPARACION DE EFICIENCIAS DE MOLIENDA

Aplicación de la Ley de Rittinger. (Método Del Mar.)

Cemento con 0 % de escorias.

Tamiz Nº	Abert. mm.	Inversa	Alimentación		Producto		Difer.
			% traves	Inv x %	% traves	Inv x %	
14	1,168	0,595	99,6	59	100,0	59	0
28	0,589	1,700	86,0	146	100,0	170	24
48	0,295	3,400	54,0	184	100,0	340	156
100	0,147	6,800	42,6	290	100,0	680	390
200	0,074	13,500	31,8	430	97,2	1328	898
325	0,043	23,200	24,5	568	89,2	2069	1501
				1677			2951

Cemento con 30 % de escorias.

Tamiz Nº	Abert. mm.	Inversa	Alimentación		Producto		Difer
			% traves	Inv x %	% traves	Inv x %	
14	1,168	0,595	99,6	59	100,0	59	0
28	0,589	1,700	91,8	156	100,0	170	14
48	0,295	3,400	73,0	175	100,0	340	165
100	0,147	6,800	64,6	435	100,0	680	245
200	0,074	13,500	49,2	664	98,4	1328	664
325	0,043	23,200	42,7	990	90,6	2102	1112
							2200

Cemento con 40 % de escorias.

Tamiz Nº	Abert. mm.	Inversa	Alimentación		Producto		Difer.
			% través	Inv x %	% través	Inv x %	
14	1,168	0,595	99,5	59	100,0	59	0
28	0,589	1,700	92,6	157	100,0	170	13
48	0,295	3,400	75,4	256	100,0	340	84
100	0,147	6,800	66,4	452	100,0	680	228
200	0,074	13,500	53,6	724	98,8	1315	591
325	0,043	23,200	43,9	1018	91,1	2120	1102

Cemento con 60 % de escorias

Tamiz Nº	Abert mm.	Inversa	Alimentación		Producto		Difer.
			% través	Inv x%	% traves	Inv x %	
14	1,168	0,595	99,7	59	100,0	59	0
28	0,589	1,700	94,4	160	100,0	170	10
48	0,295	3,400	82,8	281	100,0	340	59
100	0,147	6,800	76,2	518	100,0	680	162
200	0,074	13,500	61,8	834	98,3	1327	493
325	0,043	23,200	46,3	1018	91,2	2116	1098
				2870			

Si convencionalmente se llama 100 % la eficiencia de molienda del cemento Portland sin agregado de escorias; teniendo en cuenta las diferencias de granulometría de la alimentación del molino y de los productos obtenidos la eficiencia de molienda se calcula por proporciones.

Eficiencias de molienda:

Cementos con 30 % de escorias	74,3 %
" " 40 % " "	65,0 %
" " 60 % " "	61,7 %

FACTOR DE PERDIDA DE RESISTENCIA

Si se definiera un factor de pérdida de resistencia en la siguiente forma: $\frac{Mo - Ma}{a} = f$

fórmula en que:

Mo es el módulo de 28 días de resistencia ala compresión de un cemento con 0 % de escorias.

Ma es el módulo de 28 días de resistencia a la compresión de un cemento con a % de escorias; obtenido con el mismo clinker y las mismas condiciones de molienda.

Este factor de pérdida representa el descenso del módulo de 28 días de resistencia a la compresión por cada unidad de % de escoria agregada.-

Tomemos los módulos de los cementos de escorias con 0, 20, 30, 40, y 60 % de escorias y cuyas superficies específicas están entre 1800 y 1900 cm^2/gr.

Escoria	0%	20%	30%	40%	60%
Mo	1909	-	-	-	-
Ma	-	1649	1409	1121	873
Mo - Ma	-	260	500	788	1036
$\frac{Mo - Ma}{a} = f$	6	13,0	16,6	19,7	17,3

Como se ve f no es un valor constante sino una función del contenido en escorias .

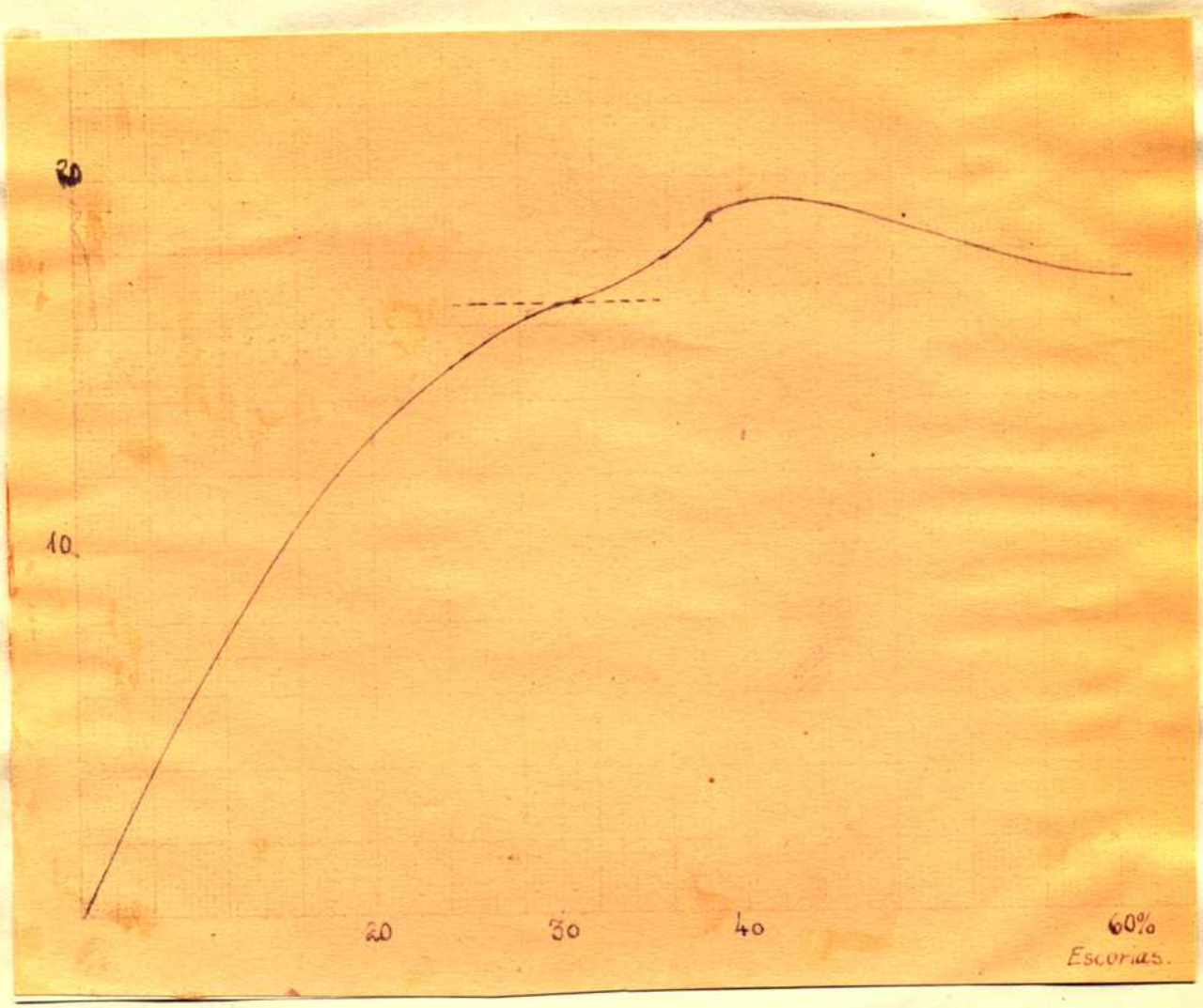
La representación gráfica y su extrapolación a 0% lleva a una curva cuyo máximo se encuentra en 40% y un punto de inflexión a 30 % de escorias .

Este punto de inflexión marca a mi juicio por las conclusiones extraidas de estas experiencias el límite para el cual el agregado de escorias al cemento Portland disminuye las propiedades físico químicas de resistencias a la tracción y a la compresión pero sin afectar otras propiedades.

Como se observa encima de este límite las propiedades físicc químicas del cemnto están afectadas en grado mayor como ocurre con los cementos con 40 y 60 % de escorias; cuyas resistencias a la tracción al primer día son nulas y cuyos ensayos de expansión en autoclave aun a una molienda fina produce la rotu

ra de las varillas.

Si bien se nota un salto en las propiedades mecánicas resistencias a la tracción y a la compresión se nota además en este punto de inflexión el aumento del tiempo de fraguado del cemento; la disminución de la consistencia normal solamente se fica con el cemento con 60 % de escorias.-



VARIACION DEL FACTOR PERDIDA DE RESISTENCIA EN FUNCION DE LA PRO
PORCION DE ESCORIA EN EL CEMENTO....

C O N C L U S I O N E S

De la molienda conjunta de clinker de cemento Portland con escoria de altos hornos en distintas proporciones se llega a las siguientes conclusiones ; pero éstas son de cárácter particular y solamente aplicables a las materias a las materias primas utilizadas dada la composición química de ambas.

1º) El fraguado aumenta con el agregado de escorias; aún cuando el % de SO_3 se mantenga entre límites estrechos y la relación $\frac{\text{yeso}}{\text{clinker}} \times 100$ como en el cemento con 30 % de escorias se mantenga con un valor de 4,13 como en el cemento sin escorias; el fraguado es siempre mayor.

En cementos de igual composición (escoria y yeso) la mayor molienda disminute el tiempo de fraguado (Comparación en cementos de 1800 y 2600 $cm^2/gr.$ de superficie espécífica)

Cementos con 30 % de escorias , superficie especifica 2300 y 0,72 % de SO_3 tienen principio de fraguado a los 55 minutos y fin 3 horas 30 minutos; con 1,02 % de SO_3 el fraguado es semejante al del cemento Portland normal sin escorias obtenido con el mismo clinker.

2º) La consistencia normal disminuye solamente en los cementos con un contenido de escorias es elevado (60 %)comparado con cementos de igual fimura (Superficie especifica)

3º) Las observaciones de expansión se limitan exclusivamente a cementos con 30 % de escorias; dado que las varillas de cementos con mayor prporción de escorias se han roto durante el ensayo.

En cementos con 30 % de escorias la expansión observada es menor que la del cemento Portland obtenido por molienda del mismo clinker con yeso; lo que indica que el MgO en la escoria no se encuentra libre sino combinado, dado que este es un factor determinante de la expansión; lo mismo que el contenido en CaO libre que disminuye a medida que aumenta el contenido en escorias. dado que ésta no contiene cal libre

4º) La resistencia a la tracción disminuye para cementos de igual molienda (Superficie especifica) (entre 1800 y 1900 $cm^2/gr.$) a medida que el contenido de escoria aumenta.

Para cementos de igual composición(40 y 60 % de escorias) pero de distintas finuras (1800 y 2600 cm^2/gr.) las resistencias aumentan considerablemente los tres primeros días en los de mayor molienda ; siendo menor el aumento observado a los siete y alos veiteiocho días.

Las resistencias a la tracción de cementos con 40 y 60 % de escorias molidos a una superficie específica entre 1800 y1900 son nulos a las veinteicuatro horas

En cementos de 30 % de escorias se estudió la variación de la resistencia con el contenido de yeso a finura de 2330 cm^2/gr. las mayores resistencias a los 1, 2, 3, 7, y 28 días se obtienen con aquel que tiene 1,02 % de SO_3; con mator o menor proporción de yeso las resistencias son algo menores.

La molienda aumenta también las resistencias especialmente hasta los tres primeros días.

5º) Las resistencias a la compresión disminuye también a medida que aumenta el contenido en escorias en cementos de igual finura

En cementos de igual proporción de escorias pero de mayor finura los aumentos son más apreciables a los 2 y 3 días en aquellos que contienen 30 y 40 % y mayores aumentos a los 7 y 28 días en aquellos con 60 %.

Con 30 % de escorias y 2600 cm^2/gr. de superficie especifica las resistencias a los 28 días son mayores 31 Kg/cm^2 al cemento obtenido sin agregado de escoria.

En los ensayos de acuerdo a la norma brasileña (Mortero plástico) el cemnto con 40 % de escorias y 2610 cm^2/gr. de superficie específica alcanza alas 24 horas ya los 3 días resistencias superiores del cemanto sin escorias; para decaer a los 7días a un valor hacia el cual parecen tender todos los cementos de alta finura.

El cemento con 30 % de escorias, 0,74 % de SO_3 y superficie específica 2330 necesita mayor cantidad de agua para la obtención de un mortero de consistencia normal; obteniendose por lo tanto resistencias menores.

6º) La eficiencia de la molienda calculada de acuerdo a la ley de Rittinger (Método DElmar) y tomando como base 100 el cemento sin

escorias, disminuye a medida que ésta aumenta.

Con 30 % de escorias la eficiencia es 74,3 %.

Por lo lo tanto por razones prácticas nada mejor que un estudbo económico para determinar la utilidad del cemento de escorias dado que para obtener uno que cumpla con las especificaciones vigentes es necesario molerlo untiempo dos veces mayor con una eficiencia de molienda de 73,4 % con una pérdida bastante apreciable en las propiedades físico mecánicas.

7º) Un estudiocomparativo con material inerte (30 % de arena) revela que estos cementos cualquiera fuera su finura no exceden 28 Kg/cm^2 en la resistencia a la tracción valor que es superado por todos los ensayos realizados con escoria a cualquier proporción y finura; en los primeros la finura solamente mejora las resistencias hasta los siete días.

Tanto en las resistencias a la compresión coma a la tracción los cementos de escorias sobrepasan a los molidos con arena (30% en ambos casos) a los 7 y28 días; hecho que revela que la escoria manifiesta su actividad recién después de los siete días y especialmente a los 28 días cuando la superficie específica es mayor (2610 cm^2/gr.).

La mayor diferencia en los módulos de 28 días se tiene comparando cementos de 2290 cm^2/gr de superficie específica y 1,02 % de SO_3.

De todo lo expuesto respecto a las propiedades físico mecánicas del cemento de escorias obtenido con escoria de "Arrabio" a pesar de tener ésta en su composición química exceso de componentes ácidos y no cumplir con la relaciónR $R = \frac{\%CaO + \%MgO + 1/3\ \%Al_2O_3}{2/3\ \%Al_2O_3 + \%SiO_2}$

R= 0,85(que debiera ser mayor de 1).puede obtenerse un cemento que cumpla con las especificaciones vigentes siempre que el contenido de escorias no pase de 30 %; y en un cemento con ésta proporción los mejores resultados se logran moliendo a una finura de 2300 cm^2/gr. o mayor y regulando la proporción de yeso de modo que el % de SO_3 se encuentre alrededor de 1,0 %.

Florence E. Wall The essentials of a good report
Journal of Chemical Education Vol Mar
Taggart Hand boock of min dressing
Pags 489 - 95 J. Wiley and Sons. New York 1
Mario J Mazza Influencia de la finura sobre las propiedades físico mecánicas del Cemento Portland.
Tesis. Universidad de La Plata. Año 1941.
W.B Winkel The effect of quantity of clinker charge on laborry mill performance.
Portland Cement Association (Manufacturing research Bureau) Chicago Agosto 1940.
Portland Cement Association
The effect of media size and shape on mill perf ce in finish grinding.
M.R.B. Nº 42 Chicago 1940
Portland Cement Association
The effect of speed rotation on tube performance
M.R.B. Nº 19 Chicago 1945
Portland Cement Association
A method of estimating the efficiency of pulver
M.R.B. Nº 26 Chicago 1936
Obras Sanitarias de la Nación.
Pliego de condiciones para la recepción de cemento Portland destinado a obras publicas.
Buenos Aires 1930
Instituto del Cemento Portland Argehtino
Norma brasileña para el ensayo de cemento portland
"Instituto de investigaciones tecnológicas de San Pablo"
(Traducción I.C.P.A.) Buenos Aires 1947.
Instituto Uruguayo de Normas técnicas
Normas U.N.I.T. 1948 Pags 74-122
Montevideo 1948.
American Society of testing materials.
Committee C-1
Standards on cements. Octubre 1946

1º) Al_2O_3 remanente para este compuesto será
% Al_2O_3 − % Al_2O_3 utilizado en combinación con Fe_2O_3 para dar el
te Al_2O_3 Fe_2O_3 4 CaO. (O sea Fe_2O_3 x 0,64).

2º)
$$Al_2O_3 + 3\ CaO = Al_2O_3 \cdot 3\ CaO$$
$$102 \qquad 168 \qquad 270$$
$$\frac{3\ CaO}{Al_2O_3} = 1,65$$

% Al_2O_3 (reman) x 1,65 = % CaO utilizado en esta combinación.

d) Cálculo de CaO remanente para combinarse con SiO_2 para dar SiO_2 y $SiO_2 \cdot 2$ CaO.

Se suman :

% CaO libre (Determinación analítica directa)
% CaO combinado con SO_3 en SO_4Ca
% CaO " " Fe_2O_3 y Al_2O_3 en $Al_2O_3Fe_2O_3$ (ferr
% CaO " " Al_2O_3(reman) en $Al_2O_3 \cdot 3$ CaO.

% CaO empleado en compuestos no silicatos.

% CaO (total) − % CaO (Empleado en compuestos no silicatos) = % CaO combinado con SiO_2 para dar $SiO_2 \cdot 2$CaO y $SiO_2 \cdot 2$ CaO.

e) Cálculo de silicatos tricálcico y bicálcico.

$$SiO_2 + 2\ CaO = SiO_2 \cdot 2\ CaO$$
$$60 \qquad 112 \qquad 172$$
$$SiO_2 \cdot 2\ CaO + CaO = SiO_2 \cdot 3\ CaO$$
$$\frac{SiO_2 \cdot 2\ CaO}{SiO_2} = 2,87$$

Si se supone que toda la sílice se halla combinada como $SiO_2 \cdot 2CaO$ se tiene entonces : % SiO_2 x 2,87 = % $SiO_2 \cdot 2$ CaO.

$$\frac{\%\ SiO_2 \cdot 2CaO - \%\ SiO_2 = \%\ CaO \text{ utilizado en } SiO_2 \cdot 2CaO}{CaO} = 4,07$$

% CaO remanente = % CaO utilizado en $SiO_2 2CaO$ = % CaO sobrante para combinarse con $SiO_2 \cdot 2CaO$ para dar $SiO_2 \cdot 3CaO$.

% CaO (sobrante) x 4,07 = $SiO_2 \cdot 3$ CaO.

% SiO_2 − % CaO (remanente) = % ($SiO_2 \cdot 3$ CaO + $SiO_2 \cdot 2CaO$)

Composición química.

$SiO_2.3CaC$	45,62 %
$SiO_2.2CaC$	31,89 "
$Al_2O_3.3CaO$	9,25 "
$Al_2O_2Fe_2C_3.4CaO$	8,51 "
Se_4Ca	3,04 "
CaO libre	0,54 "
MgO libre	1,24
Pérdida	1,50
Total	99,59 "

(Vease pag 15)

———————o O o———————

Barcelona 18 de Mayo 1951

I N D I C E

Resumen I

Introducción 1

Materias primas

Clinker 3

Escoria 4

Yeso 4

Arena Normal(Para ensayos físicos) 4

Especificaciones para cementos de escoria

A.S.T.M. Designación C 205- 43 T

Definición 5

Especificaciones químicas 5

Especificaciones físicas 6

Ensayos de molienda 7

Método de Ensayo

Ensayos químicos 9

Ensayos físicos

Finura 9

Consistencia Normal 9

Fraguado 10

Expansión 10

Resistencia a la tracción 10 b

Resistencia a la compresión 10 b

Resitencia a la compresión (M.P.) 10 b

Cementos con 20 30 40 y 60 % de escorias 13

Distribución del tamaño de partículas 13

Análisis químico 14

Composición química 15

Resistencia a la tracción 15

Resistencia a la compresión 15

Resistencia a la compresión (Mortero Plástico) 16

Gráficos y comentarios 17-21

CEMENTOS DE 40 y 60% DE ESCORIAS

(Influencia de la finuras en las propiedades

físico mecánicas.) 22

Distribución del tamaño de partículas 23

Resistencia a la tracción 23

Resistencia a la compresión 23